

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño e Implementación de un Sistema de Supervisión en la Operación de
Motores Eléctricos de Ventilación para Acería

INGE-2926

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Adriana Lisseth Alvear Macias

Andrea Noemi Mantilla Alvarez

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

A mis padres, por darme más de lo que un
día recibieron

A mi tío, padre y amigo

A mí, por tener la determinación de
convertir mis sueños en realidad

Adriana Alvear

A mi padre, Marco, por su ejemplo de
esfuerzo y dedicación que siempre me
guía.

A mi madre, Yoconda, por su amor
incondicional y sus consejos que me
sostienen en todo momento.

A mis hermanos, Nathalia y Aurelio, por
estar siempre a mi lado y compartir risas,
aprendizajes y aventuras.

Y a mis perritas Tita, Sol y Luna, por llenar
mis días de alegría, ternura y momentos
inolvidables.

Andrea Mantilla

Agradecimientos

Nuestros más sinceros agradecimientos a **Adelca S.A.**, por brindarnos la valiosa oportunidad de asumir nuestro primer proyecto de ingeniería.

Al **Ing. Carlos Cardoso**, jefe de proyectos de la planta de laminación, por su guía, paciencia y disposición.

Al **Ing. Wilmer Lara** por su apoyo y motivación constante.

Al **Ing. Ricardo Gómez**, maestro y amigo, quien, con su experiencia, dedicación y confianza en nosotras, nos brindó su apoyo incondicional para que este trabajo alcanzara un alto nivel de calidad.

A **nuestros docentes**, por creer en nosotras incluso más de lo que nosotras mismas lo hacíamos

A todos ellos, nuestra profunda gratitud por ser parte esencial de este logro.

Declaración Expresa

Nosotras **Adriana Lisseth Alvear Macias** y **Andrea Noemi Mantilla Alvarez** acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de derechos de autor del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotras durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 11 de julio del 2025.

Autor 1

Autor 2

Evaluadores

Dennys Dick Cortez Álvarez

Profesor de Materia

Víctor Andrés Arce Domínguez

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y generación de directrices, modelado y simulación para la implementación de un sistema de protección frente al sobrecalentamiento y humedad que pudiera sufrir el motor Electro Adda en su devanado y estator, debido a la recurrencia de estos eventos en la planta de laminados de una reconocida empresa del sector siderúrgico situada en la provincia del Guayas, Ecuador. Además, se busca verificar la operatividad del ventilador Acovent durante los periodos de producción de alambrón, dado que es un proceso donde la dosificación precisa del flujo de aire es crítica para la calidad final del producto. Frente a las necesidades expuestas fue necesario el uso de dispositivos tales como: encoder, termistor y resistencia calefactora para desarrollar un sistema de control diseñado en el entorno de programación para automatización SIMATIC Manager. El diseño propuesto brinda una solución efectiva frente a las problemáticas existentes, que además representa una herramienta de monitoreo en tiempo real a través del anexo al entorno SCADA de la planta.

Palabras Clave: Alambrón, Encoder, Termistor, Resistencia Calefactora, Control.

Abstract

This project aims to design and implement guidelines for a protection system against overheating and humidity that could occur in the winding and stator of the Electro Adda motor due to the recurrence of these events at a renowned company in the steel sector, rolling mill located in the Guayas province of Ecuador. The project also seeks to verify the operation of the Acovent fan during wire rod production, given that this is a process where precise airflow measurement is critical to the final product quality. Given the stated needs, it was necessary to use devices such as an encoder, a thermistor, and a heating resistor to develop a control system designed in the SIMATIC Manager automation programming environment. The proposed design provides an effective solution to the existing problems and represents a real-time monitoring tool through an annex to the plant's SCADA environment.

Keywords: *Wire Rod, Encoder, Thermistor, Heating Resistor, Control.*

Índice General

Resumen.....	I
<i>Abstract</i>	II
Índice General.....	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas	XI
Índice de planos	XII
Índice de programación.....	XIII
Capítulo 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Marco teórico	5
1.4.1 Motor trifásico de inducción.....	6
1.4.2 Ventilador industrial y la ley de Afinidad.....	6
1.4.3 Resistencia de calentamiento	7
1.4.4 Protección térmica	8

1.4.5	Encoder para el monitoreo de la velocidad.....	8
1.4.6	PLC Siemens S7-400	9
1.4.7	EPLAN Electric P8.....	10
1.4.8	SIMATIC Manager.....	11
1.4.9	AVEVA InTouch HMI	12
1.4.10	Simulador S7-PLC Sim.....	13
	Capítulo 2.....	15
2.	Metodología	16
2.1	Diseño metodológico.....	16
2.1.1	Enfoque metodológico	16
2.1.2	Modalidad de la investigación	17
2.1.3	Función o tipo de investigación	17
2.2	Requerimientos del sistema de supervisión	18
2.2.1	Levantamiento de información	18
2.2.2	Especificaciones técnicas.....	27
2.2.3	Restricciones.....	28
2.3	Diseño del sistema.....	29
2.3.1	Diseño conceptual	29
2.3.2	Selección de componentes	30
2.3.3	Diseño eléctrico en EPLAN.....	33
2.3.4	Diseño de software para sensores	37

2.3.5	Diseño de software para resistencia calefactora	43
2.3.6	Diseño de software para alarmas	48
2.4	Normativas y seguridad.....	49
2.4.1	Principios técnicos y normativas aplicadas.....	49
2.4.2	Consideraciones éticas y legales.....	49
	Capítulo 3.....	51
3.	Resultados y análisis.....	52
3.1	Planos del diseño del sistema	52
3.2	Simulación y validación técnica.....	54
3.3	Costos de implementación	65
3.4	Análisis ROI.....	66
3.5	Modelado 3D e implementación propuesta.....	67
	Capítulo 4.....	71
4.	Conclusiones y recomendaciones	72
4.1	Conclusiones	72
4.2	Recomendaciones.....	73
	Capítulo 5.....	75
	Referencias.....	76
	Apéndice	78

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

HMI Interfaz Hombre-Máquina (Human-Machine Interface)

IP Ingress Protection (Protección de Ingreso)

NTC Coeficiente de Temperatura Negativo

MTI Motor Trifásico de Inducción

PLC Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller)

PTC Coeficiente de Temperatura Positivo

RPM Revoluciones por minuto

SCADA Sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (Supervisory Control and Data Acquisition)

Simbología

A	Amperio
Cu	Cobre
kW	Kilovatios
m	Metro
mm	Milímetro
mV	Milivoltio
Ω	Ohmio
S	segundo
V	Voltio
W	Watts (Vatios)

Índice de figuras

Figura 1. Vista exterior e interior de un motor trifásico de inducción.....	6
Figura 2. Encoder Incremental Rotatorio.....	9
Figura 3. CPU 414-2 DP.....	10
Figura 4. Plataforma EPLAN.....	11
Figura 5. Interfaz de inicio de SIMATIC Manager	12
Figura 6. Interfaz de usuario de AVEVA InTouch HMI	13
Figura 7. Vista del simulador PLC SIM	14
Figura 8. Motor Trifásico de Inducción Electro Adda.....	18
Figura 9. Datos de placa del motor	19
Figura 10. Daños por sobrecalentamiento en el bobinado	19
Figura 11. Presencia de humedad en la caja de terminales	20
Figura 12. Presencia de corrosión en el bobinado	20
Figura 13. Sistema de Enfriamiento del Alambrón	21
Figura 14. Datos de placa del ventilador Acovent	22
Figura 15. Rollos de alambrón apilados en el patio de laminación	22
Figura 16. Vista posterior del sistema con presencia de rejilla.....	23
Figura 17. Rejilla cubriendo la polea del motor y las cinco bandas del acople	24
Figura 18. Vista lateral del camino del tapete.....	25
Figura 19. Ventiladores numerados del tapete del Alambrón.....	25
Figura 20. Rebobinado del motor en mantenimiento correctivo	26
Figura 21. Trabajo final del rebobinado	26
Figura 22. Diagrama de bloques del sistema de supervisión y monitoreo.....	29
Figura 23. Resistencia de calentamiento.....	31
Figura 24. Encoder Incremental Programable LIKA IQ 58	31

Figura 25. Protector Térmico S01 THERMIK	32
Figura 26. Conexión eléctrica de la resistencia de calentamiento	33
Figura 27. Conexión de entradas digitales del sistema	34
Figura 28. Conexión de la salida digital del sistema	35
Figura 29. Conexión eléctrica del encoder	36
Figura 30. Configuración de sensores – Network 1.....	37
Figura 31. Configuración de sensores – Network 2.....	38
Figura 32. Configuración de sensores – Network 3.....	39
Figura 33. Configuración de sensores – Network 4.....	41
Figura 34. Configuración de sensores – Network 5.....	42
Figura 35. Activación de la resistencia de calentamiento – Network 1	43
Figura 36. Activación de la resistencia de calentamiento – Network 2.....	44
Figura 37. Activación de la resistencia de calentamiento – Network 3.....	45
Figura 38. Activación de la resistencia de calentamiento – Network 4.....	46
Figura 39. Programación para el cálculo del caudal	47
Figura 40. Diseño del banner de alarmas en InTouch	48
Figura 41. Alimentación de servicio.....	52
Figura 42. Alimentación de control	52
Figura 43. Borneras de 3 pisos.....	53
Figura 44. Borneras frontera	53
Figura 45. Históricos de alarmas en tiempo real.....	55
Figura 46. Activación de la resistencia de calentamiento – Prueba 1	56
Figura 47. Activación de la resistencia de calentamiento – Prueba 2.....	57
Figura 48. Configuración de sensores – Prueba 1.....	58
Figura 49. Configuración de sensores – Prueba 2.....	59

Figura 50. Configuración de sensores – Prueba 3.....	60
Figura 51. Configuración de sensores – Prueba 4.....	61
Figura 52. Cálculo de caudal – Prueba 1	62
Figura 53. Cálculo de caudal – Prueba 2	63
Figura 54. Cálculo de caudal – Prueba 3	64
Figura 55. Camino con sistemas de enfriamiento (motor-ventilador) en el tapete del alambrón	67
Figura 56 Vista 3D aérea de canaletización cubierta galvanizada.....	67
Figura 57 Vista 3D del cuarto de tableros	68
Figura 58 Vista 3D del tablero eléctrico modificado para la implementación del proyecto ...	68
Figura 59 Vista 3D de las modificaciones efectuadas en el tablero intervenido	69
Figura 60 Vista 3D con los elementos ya existentes en el tablero previo a intervenir	69
Figura 61 Vista 3D con los 15 guardamotores usados en la activación de las resistencias calefactoras 70	
Figura 62 Vista 3D con las borneras simples para las resistencias calefactoras(izquierda) y termistores (derecha).....	70

Índice de tablas

Tabla 1. Parámetros técnicos de la resistencia de calentamiento.....	31
Tabla 2. Parámetros técnicos del encoder incremental	32
Tabla 3. Parámetros técnicos del termistor	33
Tabla 4. Costos de materiales para implementación.....	65
Tabla 5. Costos de manos de obra ingenieril	66

Índice de planos

- PLANO 1 Resistencia de calentamiento – Fuerza y control
- PLANO 2 Entradas digitales – Resistencia de calentamiento / Termistor
- PLANO 3 Salidas digitales – Resistencia de calentamiento
- PLANO 4 Entradas del encoder
- PLANO 5 Disposición física del gabinete

Índice de programación

- | | |
|------------|---------------------------------------|
| PROGRAMA 1 | Configuración y monitoreo de sensores |
| PROGRAMA 2 | Control de resistencia calentadora |
| PROGRAMA 3 | Aplicación de la ley de Afinidad |

Capítulo 1

1. Introducción

En la industria siderúrgica, la eficiencia y continuidad operativa de los sistemas electromecánicos son elementos esenciales para garantizar la calidad del producto final y la competitividad del proceso. En particular, dentro del proceso de fabricación de alambrón, una de las etapas críticas es el enfriamiento y manejo del producto, donde un flujo de aire constante y regulado es fundamental para estabilizar sus propiedades físicas y evitar defectos por variaciones térmicas.

Por esta razón, se necesita que los motores eléctricos que accionan los ventiladores industriales operen de manera confiable bajo diversas condiciones ambientales, con un monitoreo constante tanto del motor como del ventilador, con el fin de asegurar que el caudal de aire se mantenga estable durante toda la operación. Además, es necesario implementar mecanismos de protección contra el sobrecalentamiento, ya que esto puede reducir significativamente la vida útil del motor (Sihombing et al., 2023).

Así, el presente proyecto plantea como solución un sistema de control centrado en el motor eléctrico, que acciona al ventilador mediante un sistema de acople por bandas, como parte del proceso de enfriamiento en la línea de producción de alambrón de una empresa industrial nacional reconocida en el sector siderúrgico. Esta solución se implementará en uno de los quince sistemas, formados por un motor y un ventilador, que operan dentro de la planta de laminación, permitiendo validar su efectividad antes de considerar escalar su posible aplicación al resto de sistemas.

Debido a la ubicación de la industria, los motores operan en un ambiente húmedo lo que incrementa el riesgo de corrosión y deterioro prematuro de los componentes, generando paradas no planificadas, gastos por mantenimiento e incluso pérdida de producción. Por lo que, ante estos escenarios, se ha considerado la implementación de estrategias automatizadas de control que incluyan diferentes tipos de protecciones térmicas, tales como interruptores térmicos bimetálicos y el uso de resistencias calefactoras.

Asimismo, se ha identificado un patrón de fallas en el sistema de transmisión mecánica del ventilador, particularmente en las bandas de acoplamiento, las cuales en ocasiones se rompen sin previo aviso, interrumriendo la circulación del aire necesario en la etapa final de producción. Por ello, como parte de la solución, también se propone incorporar al sistema de control la supervisión del ventilador mediante un encoder, con el fin de monitorear su velocidad a través del SCADA.

Por tanto, este proyecto se enmarca en una propuesta de mejora integral del sistema de ventilación, diseñada bajo criterios de automatización industrial, eficiencia energética y protección preventiva; además de optimizar el desempeño de este sistema, reducir los costos de mantenimiento y extender la vida útil del motor.

1.1 Descripción del problema

Durante los períodos de producción de alambrón, el motor trifásico Electro Adda pone en marcha al ventilador industrial acoplado Acovent N° 3, cuya función es el enfriamiento del alambrón, uno de los productos finales del proceso de laminado. Esta operación se realiza en un entorno con condiciones climáticas tropicales, específicamente en la zona rural de la ciudad de Milagro, provincia del Guayas, Ecuador, la cual presenta temperaturas medias anuales entre 25,5 °C y 27 °C (Climate-Data.org; World Weather Online, 2024).

Estas condiciones representan un riesgo para los equipos electromecánicos, especialmente durante los períodos de inactividad del motor, cuando cesa la generación de calor interno. Si bien el motor Electro Adda cuenta con un grado de protección IP55, existen antecedentes de acumulación de humedad en su interior. Esta acumulación ha generado condensación, deterioro del aislamiento y corrosión de los componentes metálicos, derivando en fallas eléctricas y mecánicas, paradas no planificadas, aumento de los costos de mantenimiento correctivo y pérdida de producción.

Asimismo, se han reportado fallas en el sistema de transmisión por bandas que conecta el motor con el ventilador, ya sea por ruptura o desgaste mecánico, lo que ha ocasionado interrupciones inesperadas del flujo de aire necesario para la estabilización térmica del alambrón. Esto debido a que actualmente no se cuenta con un sistema de detección inmediata que permita controlar y prevenir este tipo de fallas.

1.2 Justificación del problema

La problemática abordada en este proyecto es de alto impacto operativo y económico, ya que afecta directamente la disponibilidad del sistema de ventilación, la calidad final del producto y altos costos asociados al mantenimiento no planificado. En particular, se identifican como causas principales la acumulación de humedad en el estator del motor, la ruptura de bandas en las poleas de acoplamiento motor-ventilador y la ausencia de un sistema de monitoreo de flujo de aire dentro de la campana extractora.

La inexistencia de un sistema control automatizado representa un riesgo operativo considerable, ya que el enfriamiento insuficiente del alambrón puede inducir tensiones térmicas internas, deformaciones y alteraciones en sus propiedades, afectando la estabilidad del proceso y la calidad del producto final (García, Melia y Brandaleze, 2016). Por tanto, el desarrollo de una solución efectiva es crucial para mejorar la eficiencia operativa, reducir pérdidas y optimizar los recursos de mantenimiento preventivo.

Ante este contexto, se plantea el desarrollo de una solución automatizada basada en lógica cableada, control automatizado (PLC) y conexión al SCADA, la cual, permitirá prevenir el deterioro interno por humedad, detectar fallos operativos en tiempo real y mejorar la eficiencia energética mediante una activación automatizada de la resistencia calefactora. Esta propuesta no sólo mitiga riesgos técnicos y económicos, sino que también es escalable a los demás motores de la planta, lo cual representa una ventaja estratégica en términos de estandarización de mantenimiento y confiabilidad operativa.

Asimismo, la implementación del sistema contribuye al fortalecimiento de prácticas de mantenimiento predictivo y preventivo, alineándose con las tendencias actuales de la industria 4.0, donde el monitoreo constante de variables críticas como la temperatura, la velocidad y el estado operativo, permite tomar decisiones informadas, reducir tiempos de inactividad y prolongar la vida útil de los equipos electromecánicos.

Por tanto, el presente proyecto no solo ofrece una solución a una problemática concreta, sino que está respaldado por criterios de viabilidad técnica, impacto operativo y rentabilidad económica., aportando a la mejora continua de los procesos industriales de la empresa siderúrgica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de control de temperatura mediante el desarrollo de programación en PLC S7-400 para la activación de resistencia de calentamiento en el motor durante períodos inoperativos de la línea de producción y el monitoreo de la actividad del ventilador que garantice la calidad del producto final.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Automatizar la activación de resistencia calefactora mediante una función FC en SIMATIC Manager en el momento de la detección de un paro del motor después de un minuto de inactividad.
- Implementar un termistor en el motor trifásico para la interrupción de su funcionamiento automáticamente cuando la temperatura supere un umbral preestablecido.
- Instalar un sensor para el monitoreo de la actividad del ventilador mediante la visualización gráfica en el SCADA, con el fin de detección de anomalías y reducción de tiempos de inactividad.
- Historizar las alarmas por fallo de motor y fallo de ventilación mediante History and Alarms en InTouch para toma de decisiones preventivas, ayudando a evitar fallas futuras.

1.4 Marco teórico

En el contexto industrial contemporáneo, la supervisión y control de motores eléctricos constituye una necesidad fundamental para alcanzar altos niveles de eficiencia, seguridad y confiabilidad en los procesos productivos. En especial, los sistemas de ventilación auxiliares en procesos térmicos (como el enfriamiento del alambrón) deben operar de manera continua y estable, ya que su falla puede afectar gravemente la calidad del producto final, causar sobrecalentamiento de materiales y provocar daños en la maquinaria.

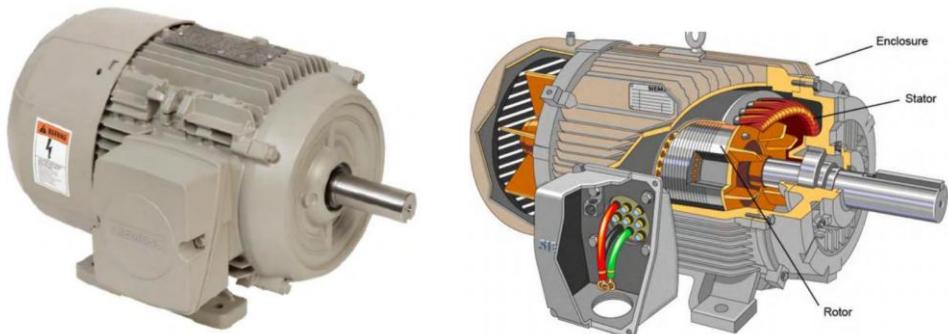
En esta sección se presentan los principales componentes y softwares utilizados en la solución propuesta; analizando sus características técnicas, aplicaciones e interacciones que se establecen dentro de este sistema de control industrial.

1.4.1 Motor trifásico de inducción

Los motores eléctricos trifásicos de inducción son ampliamente usados en la industria siderúrgica, ya que se destacan por su robustez, bajo mantenimiento y eficiencia energética. Sin embargo, cuando operan en ambientes tropicales con alta humedad relativa, están expuestos a condiciones que pueden comprometer su integridad, tales como la condensación interna, el deterioro del aislamiento eléctrico y la oxidación de componentes metálicos, especialmente durante los períodos de inactividad donde no se genera calor interno que mantenga seco el sistema.

Figura 1.

Vista exterior e interior de un motor trifásico de inducción



Nota. La imagen muestra la vista externa y una sección transversal de un MTI: rotor, estator y carcasa. Tomado de “Máquinas y Accionamientos Eléctricos (3M4): Introducción al motor trifásico de inducción” (p. 2), 2019, por *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata*.

1.4.2 Ventilador industrial y la ley de Afinidad

El ventilador industrial es el elemento encargado de garantizar el flujo constante de aire en la etapa de enfriamiento del alambrón. Se trata de equipos diseñados para el movimiento continuo de grandes volúmenes de aire, lo cual resulta esencial en procesos de disipación térmica, ventilación forzada y estabilización de materiales metálicos en plantas siderúrgicas.

La operación de estos equipos se rige, además, por la **Ley de Afinidad**, la cual establece que el caudal es proporcional a la velocidad de rotación, la presión varía con el cuadrado de la velocidad y la potencia requerida lo hace con el cubo de la velocidad.

Las tres leyes fundamentales que rigen el comportamiento de los ventiladores centrífugos son:

- 1.** Caudal (Q) proporcional a la velocidad (N):

$$Q_2 / Q_1 = N_2 / N_1$$

- 2.** Presión (H) proporcional al cuadrado de la velocidad:

$$H_2 / H_1 = (N_2 / N_1)^2$$

- 3.** Potencia (P) proporcional al cubo de la velocidad:

$$P_2 / P_1 = (N_2 / N_1)^3$$

Esta relación permite predecir el comportamiento de equipos rotodinámicos como ventiladores, bombas o compresores cuando se opera a diferentes velocidades de rotación (RPM), manteniendo constante la geometría del sistema y condiciones similares de operación.

1.4.3 Resistencia de calentamiento

La resistencia de calentamiento es un componente eléctrico cuya función es transformar energía eléctrica en calor, a través del efecto Joule, con el propósito de controlar o mantener la temperatura de un sistema. Por lo que, para mitigar los riesgos derivados de la humedad interna en los motores, se recurre a la instalación de **resistencias calefactoras** internas, las cuales mantienen una temperatura mínima y evitan la condensación en el interior del motor. Este tipo de protección es clave en ambientes húmedos, ya que contribuye a prolongar la vida útil del motor y reducir fallas por corrosión (Gedzurs, 2015).

1.4.4 Protección térmica

El monitoreo de la temperatura del motor se puede realizar mediante el uso de **termistores**, dispositivos sensibles a la temperatura que permiten detectar el sobrecalentamiento y, en caso de superar un umbral crítico, detener automáticamente el funcionamiento del equipo.

Existen termistores de tipo NTC (coeficiente negativo) y PTC (coeficiente positivo), ambos aplicables en sistemas de protección. La integración de estos sensores con controladores lógicos programables (PLC) permite una respuesta automática ante condiciones térmicas anómalas, constituyendo un elemento esencial del mantenimiento predictivo (IEC 60034-11, 2004).

1.4.5 Encoder para el monitoreo de la velocidad

En sistemas donde el ventilador está acoplado al motor mediante bandas de transmisión, el fallo mecánico de estas (como rotura o deslizamiento) puede detener el flujo de aire sin que el motor se detenga, generando una falsa sensación de operación normal. Por ello, para prevenir este tipo de situaciones se recomienda la incorporación sensores de velocidad o **encoders**, que son dispositivos que convierten el movimiento mecánico en señales eléctricas, permitiendo medir velocidad o posición de un eje. De esta forma, es posible comparar la velocidad del motor con la del ventilador, donde cualquier discrepancia entre ambas será interpretada como falla en la transmisión (Bolton, 2015).

Figura 2.

Encoder Incremental Rotatorio



Nota. Tomado de “Encoder incremental rotatorio 400 pulsos eje de 6 mm 5–24 VCC,” por Novatronic, 2025 (<https://novatronicec.com/index.php/product/encoder-incremental-rotatorio-400-pulsos-eje-de-6-mm-5-24-vcc-e38s6g5-400b-g24n/>).

1.4.6 PLC Siemens S7-400

El Controlador Lógico Programable (PLC) SIMATIC S7- 400 pertenece a la familia SIMATIC S7 de Siemens, es un dispositivo electrónico diseñado para automatizar procesos industriales mediante la ejecución de programas lógicos de control.

En particular, la CPU 414-2 DP dispone de interfaces que permiten la comunicación mediante la arquitectura PROFIBUS DP, lo que facilita la conexión con diferentes periferias descentralizadas dentro de la red. Gracias a su capacidad de procesamiento, modularidad y flexibilidad, este PLC resulta adecuado para aplicaciones que requieren alta confiabilidad, como plantas industriales, sistemas de producción continua o entornos de control distribuido.

Figura 3.

CPU 414-2 DP



Nota. Imagen referencial del CPU 414 – 2 DP. Tomado de “CPU 414-2XL07”, por *Siemens*, (https://www.automation.siemens.com/bilddb/index.aspx?gridview=view2&objkey=P_PCS7_XX_00647&showdetail=true&view=Search).

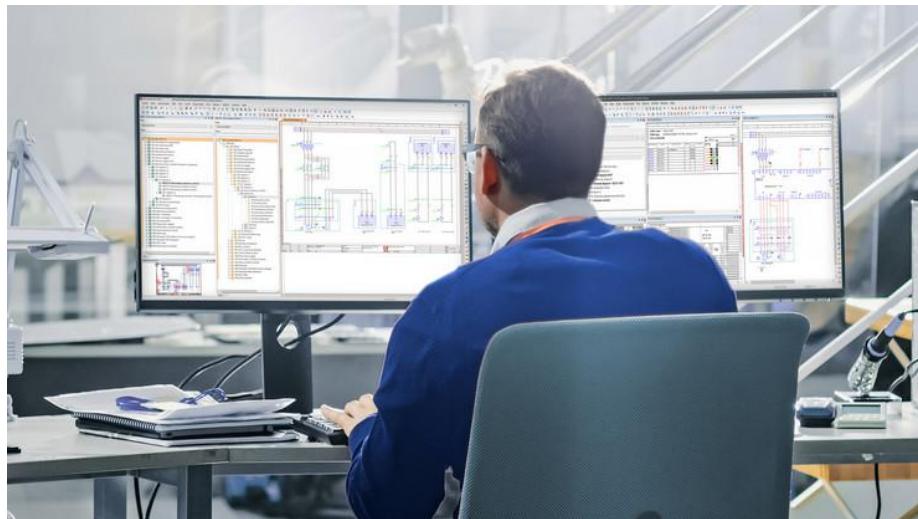
1.4.7 EPLAN Electric P8.

Es un software de diseño eléctrico muy completo que permite la generación de esquemas eléctricos y documentación técnica automatizada. Posee una amplia variedad de símbolos eléctricos en su base de datos y es posible adaptar a la normativa IEC 81346 su estructura de proyectos, lo que implica una organización estandarizada del plano.

Tiene ventaja con respecto a los softwares competidores dado que trabaja en conjunto con reconocidas marcas del sector eléctrico, por lo que es posible usar macros predefinidas que representan esquemas eléctricos reales acorde al modelo del equipo a dibujar. Esto representa eficiencia en tiempo debido a que se evita dibujarlo manualmente.

Figura 4.

Plataforma EPLAN



Note. Apartado de “Plataforma EPLAN”, por EPLAN Software & Services S.A., 2023, *EPLAN*, (<https://www.eplan.es/soluciones/eplan-electric-p8/>).

1.4.8 SIMATIC Manager

SIMATIC Manager es la plataforma de software desarrollada por Siemens para la programación y configuración de los PLCs de la serie S7, el cual proporciona un entorno de desarrollo integrado en el que se pueden crear proyectos, organizar bloques de programación y gestionar la comunicación con el hardware de control.

Este entorno se caracteriza por facilitar la programación y la visualización de datos en tiempo real, lo que resulta una ventaja para un diagnóstico inmediato en momentos donde se presente una eventualidad.

Figura 5.

Interfaz de inicio de SIMATIC Manager



Note. Imagen de la nueva versión de STEP 7 v5.6, mostrando la interfaz de usuario actualizada.

Tomada de “Siemens y la nueva versión de Step7 v5.6”, por J. García, 2018, *Blog SEAS*, (<https://www.seas.es/blog/automatizacion/siemens-y-la-nueva-version-de-step7-v5-6/>).

La implementación de lógica de control en PLC mediante bloques de funciones facilita el desarrollo modular y escalable de rutinas de control, permitiendo condiciones lógicas específicas, como la activación de una resistencia calefactora tras un minuto de paro del motor (Siemens, 2006). Esta flexibilidad es esencial en contextos de operación continua, donde la lógica debe adaptarse dinámicamente al estado del sistema.

1.4.9 AVEVA InTouch HMI.

Es un software de visualización HMI que permite a los operadores optimizar las interacciones humanas rutinarias con los sistemas de automatización industrial. Este sistema proporciona a los operadores una visión clara del estado de los equipos, alarmas y variables críticas, mejorando la capacidad de reacción ante situaciones anómalas.

La integración del sistema propuesto en el SCADA existente permite la visualización en tiempo real del estado operativo de los equipos, así como la generación automática de alarmas, facilitando la toma de decisiones inmediatas por parte del personal.

Figura 6.

Interfaz de usuario de AVEVA InTouch HMI



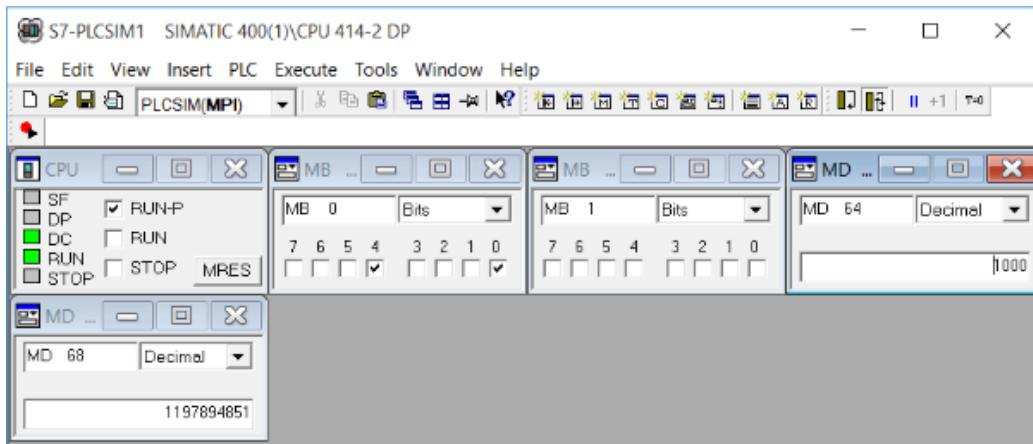
Note. Interfaz de usuario de InTouch, mostrando gráficos de barras y medidores. Adaptado de “Datasheet AVEVA InTouch HMI”, por AVEVA Group plc, 2023, AVEVA, p. 5, (https://www.aveva.com/content/dam/aveva/documents/datasheets/Datasheet_AVEVA_InTouchHMI_23-12.pdf.coredownload.inline.pdf).

1.4.10 Simulador S7-PLC Sim.

S7 – PLC Sim es un software de simulación desarrollado por Siemens que permite emular el funcionamiento de PLCs de la serie S7 sin necesidad de hardware físico. Esta herramienta es ampliamente utilizada en entornos educativos y de ingeniería para probar programas de control antes de su implementación en un hardware real.

Figura 7.

Vista del simulador PLC SIM



Nota. Se muestra una captura de pantalla del simulador PLC SIM en funcionamiento, ilustrando su interfaz y principales elementos visuales.

En este sentido, la implementación de un sistema de supervisión para motores eléctricos de ventilación en entornos siderúrgicos, basado en la integración de sensores, lógica programable y visualización SCADA, constituye una estrategia alineada con los desafíos actuales de mantenimiento predictivo, eficiencia energética y transformación digital en la industria 4.0.

Capítulo 2

2. Metodología

La presente investigación se centra en el desarrollo e implementación de un sistema automatizado para la prevención de daños por humedad y sobrecalentamiento en motores eléctricos de la planta de laminados de una empresa nacional del sector siderúrgico. La metodología adoptada busca describir de manera sistemática los procedimientos, herramientas y técnicas utilizadas para garantizar el correcto funcionamiento del motor y del ventilador, así como la eficiencia del sistema de control implementado.

Se plantean estrategias que permiten medir, controlar y evaluar las variables críticas del proceso, asegurando que los resultados obtenidos sean objetivos, precisos y aplicables en un entorno real de producción. En esta sección se describe la metodología utilizada y los pasos seguidos para alcanzar los objetivos del proyecto, así como los criterios para analizar la efectividad del sistema automatizado, proporcionando un marco claro que orienta todo el desarrollo experimental y evaluativo del estudio.

2.1 Diseño metodológico

El diseño metodológico de este proyecto se fundamenta en un enfoque cuantitativo de modalidad experimental de caso único y de tipo aplicado y evaluativo. Este diseño permite establecer relaciones causa-efecto entre la inactividad del motor y la activación automática de la resistencia calefactora, asegurando la obtención de resultados precisos y aplicables en condiciones reales de la planta.

2.1.1 Enfoque metodológico

El enfoque de esta investigación es de carácter cuantitativo, ya que se centra en la medición y control de variables numéricas asociadas al funcionamiento del motor y del ventilador en la planta de laminados. Los datos obtenidos mediante termistores, encoders y registros SCADA permiten evaluar su eficiencia, detectar fallas y monitorear parámetros críticos como la temperatura y la velocidad del ventilador.

Este enfoque permite obtener resultados objetivos, precisos y comparables, facilitando el análisis de causa-efecto entre las condiciones de inactividad del motor y la activación automática de la resistencia, verificando así la efectividad del sistema de supervisión y control implementado.

2.1.2 Modalidad de la investigación

En este proyecto se utiliza una modalidad experimental de caso único, debido a que se implementa un sistema automatizado específico para un motor y ventilador concretos, permitiendo evaluar directamente la relación causa-efecto entre la activación de la resistencia de calentamiento y la prevención del daño por humedad o sobrecalentamiento. No se asignan grupos aleatorios ni se manipulan múltiples condiciones; en cambio, se analiza detalladamente el comportamiento del sistema en un caso particular para obtener conclusiones válidas sobre su efectividad.

2.1.3 Función o tipo de investigación

El tipo de investigación es:

- Aplicada, porque se centra en un campo de práctica habitual como la ingeniería y desarrolla un sistema automatizado que aporta soluciones generalizables a problemas recurrentes en motores eléctricos, como la prevención de daños por humedad y sobrecalentamiento.
- Y evaluativa, ya que se enfoca en una situación específica en la planta midiendo el mérito, la efectividad y los costos del sistema implementado y proporcionando información útil para la toma de decisiones, la optimización de procesos y la mejora de la operatividad del sistema.

De esta manera, los resultados obtenidos no solo permiten verificar la funcionalidad del sistema instalado, sino también ofrecer recomendaciones prácticas para su operación y mantenimiento, asegurando la confiabilidad del proceso y la calidad del producto final.

2.2 Requerimientos del sistema de supervisión

2.2.1 *Levantamiento de información*

En la línea final de producción del alambrón se ha identificado un problema recurrente relacionado con el sistema de enfriamiento, conformado por un motor y un ventilador acoplados mediante poleas. Ambos equipos se encuentran expuestos a condiciones ambientales desfavorables que afectan su desempeño y confiabilidad.

Figura 8.

Motor Trifásico de Inducción Electro Adda



Nota. En la imagen se muestra un motor trifásico Electro Adda con polea, donde se aprecian cinco hendiduras que corresponden al número de bandas que conforman el acople.

Figura 9.*Datos de placa del motor*

En el caso del motor **Electro Adda**, durante los últimos tres años se han presentado dos fallos de manera reiterada. El primero corresponde al **sobrecalentamiento**, el cual ha ocasionado daños significativos en el bobinado y devanado, llegando incluso a ser irreversibles en algunos casos. El segundo fallo está asociado a la **acumulación de corrosión** por humedad, factor que deteriora progresivamente la integridad del motor y reduce su vida útil.

Figura 10.*Daños por sobrecalentamiento en el bobinado*

Nota. En ambas imágenes que conforman la figura se muestra evidencia de los daños en el bobinado causados por el sobrecalentamiento del motor, debido a la falta de un sistema de protección térmica para el motor.

Además, este sistema de ventilación accionado por el motor Electro Adda no se encuentra operativo todo el tiempo, su operación se da exclusivamente en el proceso de operación del producto, los días de producción dependerán de la demanda, pero generalmente oscilan en 10 a 15 días al mes, exponiendo a humedad por inactividad al motor los días en los que la línea no produce, este problema se intensifica debido a que este mecanismo conjunto al motor no se encuentran en un ambiente cerrado y el clima del sector fomenta la humedad.

Figura 11.

Presencia de humedad en la caja de terminales



Figura 12.

Presencia de corrosión en el bobinado



Nota. En la imagen se evidencia la presencia de corrosión en el bobinado causada por humedad. Además, se observa una mancha oscura en el estator, lo cual corresponde a una explosión interna debido a sobrecalentamiento.

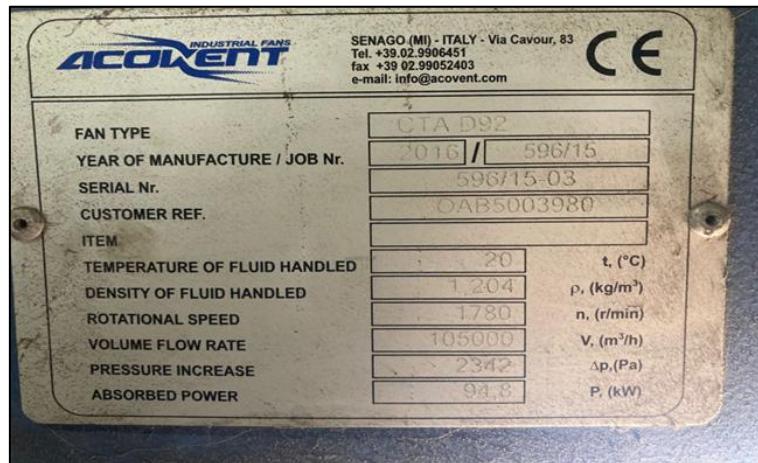
Por otra parte, el **ventilador Acovent N.^o 3** presenta una problemática vinculada a la ausencia de un sistema de monitoreo del flujo de aire en la campana extractora. Esta limitación ha tenido consecuencias directas sobre la calidad del producto final. En lo que va del año, se han expuesto aproximadamente **19 toneladas de alambrón** a condiciones inadecuadas de enfriamiento. Si bien el producto ha sido aprobado por el departamento de calidad, los informes han evidenciado un denominador común: el alambrón, aunque aceptado, no alcanza el estándar de calidad más alto exigido por la planta.

Figura 13.

Sistema de Enfriamiento del Alambrón



Nota. En la imagen se observa el sistema de enfriamiento conformado por un motor Electro Adda y el ventilador Acovent correspondiente al sistema N°3 de la planta.

Figura 14.*Datos de placa del ventilador Acovent*

Al tratarse de un producto donde su textura y dureza se ve condicionada por el enfriamiento a una temperatura específica durante su elaboración, no es posible exponerlo a la ausencia del flujo de aire. La raíz del problema radica en la **falta de un monitoreo constante** que permita verificar de manera oportuna que el ventilador opere de forma sincronizada con el motor durante todo el proceso productivo.

Figura 15.*Rollos de alambrón apilados en el patio de laminación*

El desgaste en las cinco bandas y un sistema de mantenimiento que pasa por alto las fechas de cambio sugeridas por el fabricante desencadenan en el rompimiento de estas durante la operación. **No existe** manera de saber si las bandas se rompieron por completo, el único medio de monitoreo es el variador Sinamic G-120 pero el hecho de que se pierda el acople no interrumpe la operación del motor, el escenario es un motor que continúa operando, pero una campana extractora que dejó de enfriar el producto por pérdida de acople motor-ventilador.

Figura 16.

Vista posterior del sistema con presencia de rejilla



Nota. En la imagen se aprecia la vista posterior del sistema, en la que se observa una rejilla en posición inclinada, tipo rampa, que cumple la función de proteger el acople por poleas.

Figura 17.

Rejilla cubriendo la polea del motor y las cinco bandas del acople



El cliente ha venido documentando el comportamiento del voltaje y amperaje del motor en fechas donde se perdió acople, pero han concluido que no se detecta cambio significativo en estas variables, lo que elimina la posibilidad de una detección de fallo a través del variador. También descubrieron que lo que se incrementa es el ruido en las mediciones eléctricas, pero la idea de un análisis vibratorio fue descartada por los elevados rubros de implementación que suponían.

En este proyecto se habla de un solo sistema de ventilación, sin embargo, la línea de producción se compone de quince sistemas, entiéndase este sistema aquí mencionado como un piloto de prueba que será replicado una vez evaluados los resultados de aplicación.

Figura 18.

Vista lateral del camino del tapete



Nota. Vista lateral del camino del tapete, donde se aprecian algunos de los ventiladores que conforman la línea de enfriamiento del alambrón, en total quince unidades.

Figura 19.

Ventiladores numerados del tapete del Alambrón



Por lo mencionado, se requiere la implementación de un sistema que permita **monitorear de manera continua variables críticas** para el motor como lo son la temperatura y que lo proteja en periodos inoperativos, en el caso del ventilador se requiere que sea posible confirmar la operación a lo largo de la operación, todo esto generando alertas oportunas que notifiquen en cabina al operador de anomalías en tiempo real permitiendo así la solución inmediata sin comprometer el producto final.

Figura 20.

Rebobinado del motor en mantenimiento correctivo



Figura 21.

Trabajo final del rebobinado



2.2.2 Especificaciones técnicas

El sistema de supervisión y monitoreo se diseñará para realizar un seguimiento continuo de variables eléctricas y mecánicas, tanto del motor como del ventilador. Las variables consideradas son las siguientes:

- **Temperatura:** Se utilizará como parámetro de protección del motor. Al alcanzar la temperatura estipulada en el programa, se activará un termistor con el objetivo de prevenir daños por sobrecalentamiento y, en consecuencia, prolongar la vida útil del motor.
- **RPM:** Las revoluciones por minuto del ventilador constituyen un indicador directo de su actividad durante el proceso productivo. La medición de este valor permite verificar que no exista ruptura total de las bandas de transmisión (cinco en total). Con ello se garantiza la existencia de flujo de aire en la campana extractora, condición indispensable para asegurar la calidad del producto. Adicionalmente, las RPM serán utilizadas para el cálculo teórico del flujo de aire circulante.
- **Caudal:** Se estimará a partir de una medición indirecta, resultado de una operación matemática basada en la velocidad de rotación del ventilador. Este procedimiento permitirá obtener un caudal teórico aproximado sin necesidad de instalar un flujómetro físico.

La integración de estas variables permitirá monitorear de forma confiable y en tiempo real el estado operativo del sistema. La información recolectada servirá como insumo para el procesamiento y análisis de datos, así como para la activación de alarmas en caso de detectar condiciones anómalas respecto a los valores ideales.

2.2.3 *Restricciones*

El diseño de este proyecto debe considerar las condiciones específicas del entorno industrial en el que será implementado, así como las particularidades propias del proceso de producción. Dichas condiciones se caracterizan por **altas temperaturas, niveles significativos de humedad** debido a la ubicación rural de la planta, así como por la **exposición al polvo** y al calor generado en la línea de producción. Estos factores demandan especial atención en la fase de diseño, particularmente en lo referente a la canalización de cableado, con el fin de proteger la instalación eléctrica sin comprometer la estructura existente.

En este sentido, se establece como prioridad evitar que el cable del encoder quede expuesto a rasgaduras o daños que puedan generar mediciones erróneas. Asimismo, se garantiza que el cableado no presente pérdidas por caídas de tensión mediante el **dimensionamiento adecuado de conductores**, en conformidad con la normativa vigente. En la canalización se aplicará la separación entre cables de control y cables de potencia, con el propósito de prevenir la inducción de ruido o perturbaciones electromagnéticas que pudieran comprometer la confiabilidad del sistema. Estas consideraciones resultan indispensables para asegurar la operación estable en un entorno hostil.

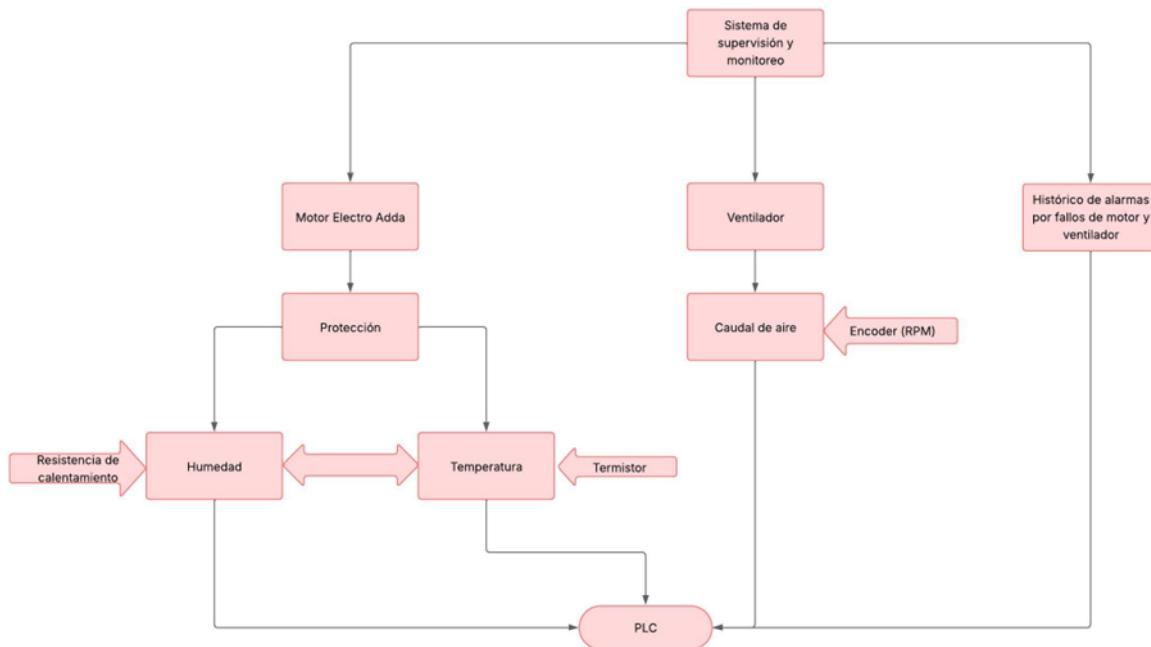
Finalmente, se contempla el **cumplimiento estricto de las normativas de seguridad industrial y eléctrica** durante todas las etapas del proyecto, desde el levantamiento de información hasta la implementación. Con ello se garantiza la seguridad del personal operativo, la protección de la infraestructura existente y la compatibilidad de la instalación con los circuitos ya presentes en la planta.

2.3 Diseño del sistema

2.3.1 Diseño conceptual

Figura 22.

Diagrama de bloques del sistema de supervisión y monitoreo



Posterior al levantamiento de información en campo y en concordancia con los objetivos del proyecto, se elaboró un diagrama de bloques como base del diseño conceptual. Este refleja la idea principal: la implementación de un sistema de supervisión y monitoreo, del cual se desprenden tres ramificaciones correspondientes a los elementos específicos que se pretende controlar. En primer lugar, se encuentra el motor, cuya supervisión es requerida de manera continua, tanto durante su operación como en los períodos de inactividad. De esta ramificación surge un cuadro de protección en el que se identifican dos factores críticos: la humedad y la temperatura, ambos considerados como principales amenazas para el motor. Dado que ambos factores tienen una correlación directa en el deterioro del equipo, se plantean soluciones específicas: frente a la humedad se propone la incorporación de una resistencia de calentamiento, mientras que para la temperatura se integra un termistor, con el fin de mitigar posibles problemas por sobrecalentamiento.

La segunda ramificación corresponde al ventilador, donde se busca supervisar principalmente el caudal de aire. Para ello, se plantea el uso de un encoder destinado a la medición de las RPM del ventilador, donde la ausencia de actividad durante el periodo de producción será interpretada como un indicio de ruptura en las bandas de acople de las poleas.

La tercera ramificación contempla el registro histórico de detección de fallos, tanto para el motor como para el ventilador. Este registro constituye un insumo esencial para la trazabilidad y el análisis de las condiciones de operación del sistema. Finalmente, las tres ramificaciones convergen en el PLC, específicamente en el modelo S7-400 utilizado en la planta. De esta manera, se establece que el control y monitoreo de los componentes será gestionado de manera centralizada a través de este controlador.

2.3.2 Selección de componentes

Las condiciones ambientales en las que está sometido el par motor-ventilador son un factor importante para la selección de componentes eléctricos debido a que la vida útil de estos equipos es muy susceptible y pueden verse afectadas sino están diseñados para el ambiente adecuado. Se considera las principales condiciones que afectan a los equipos eléctricos para este diseño:

- Humedad
- Temperatura
- Polvo

Los elementos eléctricos en campo escogidos poseen protección IP65 que garantizan confiabilidad en su funcionamiento y garantizan una eficiencia máxima en su vida útil durante su operación.

- Resistencia de calentamiento flexible

Figura 23.*Resistencia de calentamiento*

Este elemento es ideal para adaptarse en superficies irregulares, lo que permite distribuir el calor de manera uniforme limitando considerablemente la acumulación de humedad en zonas poco accesibles.

Tabla 1.*Parámetros técnicos de la resistencia de calentamiento*

Parámetros técnicos	
Tipo de componente	Actuador
Material	Silicon
Montaje	Autoadhesiva
Alimentación	120V AC
Potencia	60 W
Temperatura de operación	37.8 C

- Encoder incremental angular

Figura 24.*Encoder Incremental Programmable LIKA IQ 58*

Este elemento posee una alta precisión debido a su resolución programable lo que lo hace confiable en el entorno existente. Su frecuencia de conteo máxima es de 50 kHz lo que lo hace ideal para la medición directa de la frecuencia del ventilador.

Tabla 2.

Parámetros técnicos del encoder incremental

Parámetros técnicos	
Tipo de componente	Actuador
Resolución (PPR)	1 a 16384 (programable)
Diámetro de eje	10 mm
Alimentación	5 a 30 V DC
Consumo	60 mA
Protección	IP65

- Termistor

Figura 25.

Protector Térmico S01 THERMIK

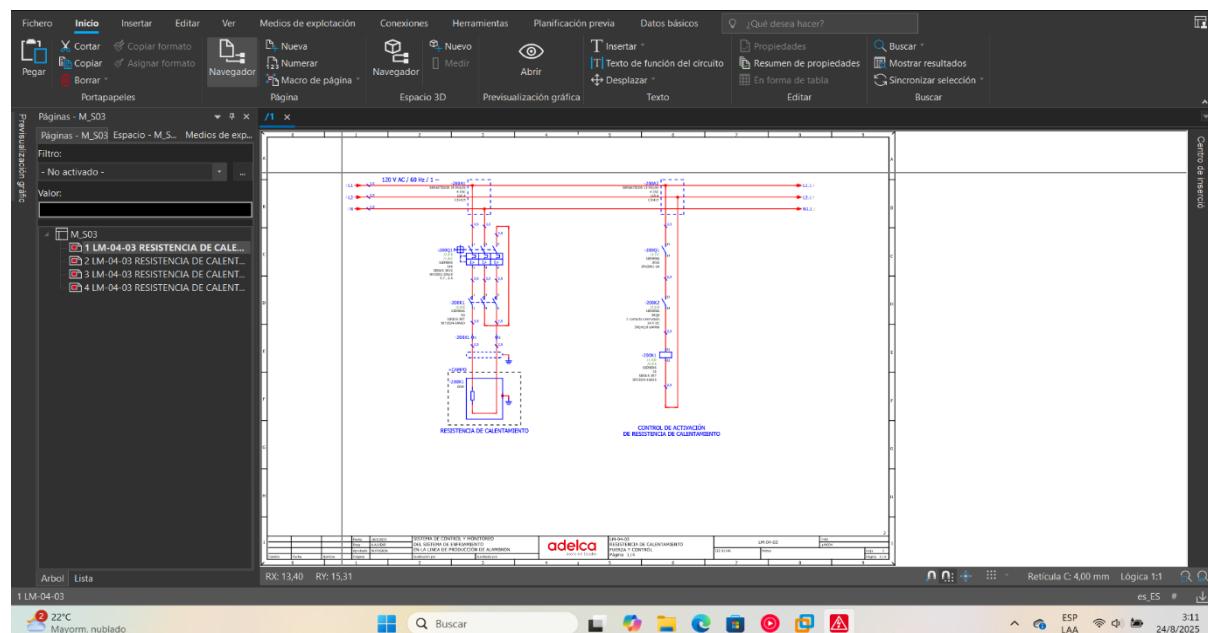


Se eligió este componente debido a su diseño compacto y rápida respuesta ante condiciones de sobrecalentamiento. Su disco bimetálico de alta precisión, opera en función de la temperatura de operación del motor, sin requerir corriente eléctrica para su activación.

Tabla 3.*Parámetros técnicos del termistor*

Parámetros técnicos	
Tipo de componente	Actuador
Temperatura nominal	85.5 C
Voltaje nominal	12 V DC
Corriente máxima	40 A

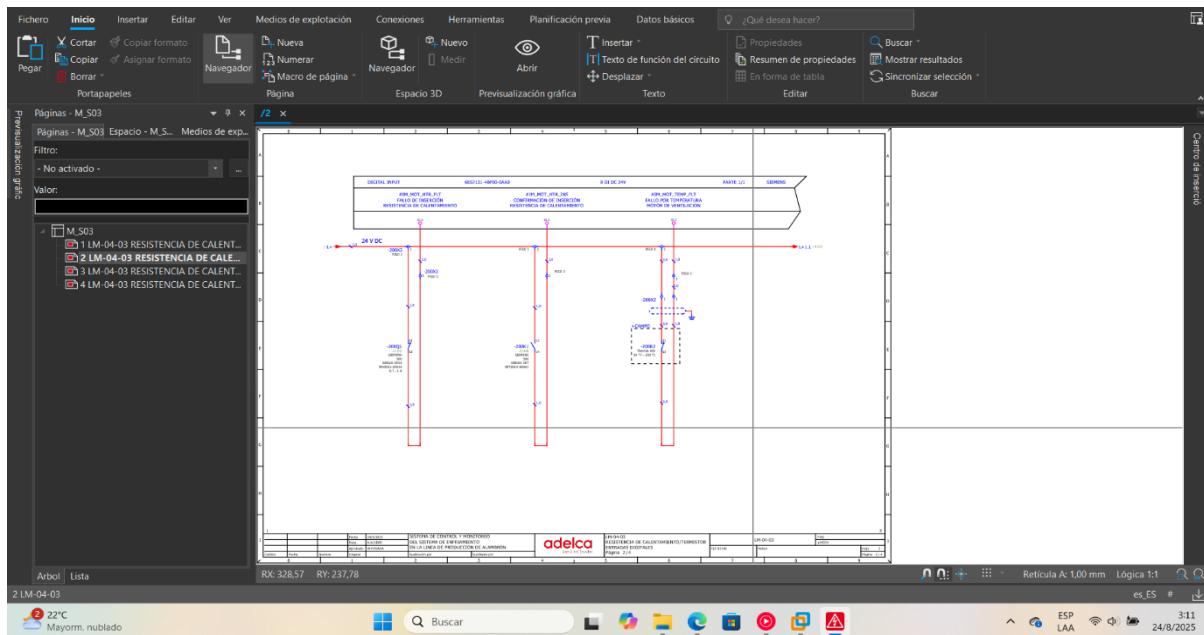
2.3.3 Diseño eléctrico en EPLAN

Figura 26.*Conexión eléctrica de la resistencia de calentamiento*

El diseño presentado corresponde a la **etapa de fuerza y control** de la conexión eléctrica de la resistencia de calentamiento. La resistencia por alimentar tiene una potencia de **60 W** y su activación se realiza de manera **automática mediante una salida digital del PLC**, asegurando un control confiable y seguro del equipo.

Figura 27.

Conexión de entradas digitales del sistema



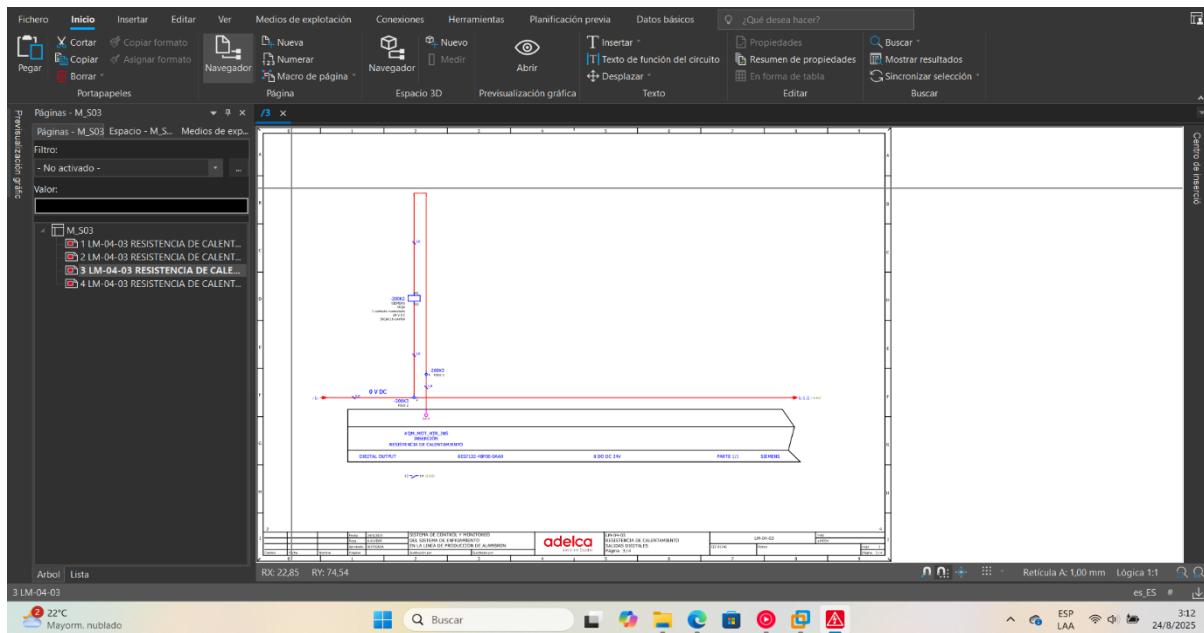
La imagen muestra las **entradas digitales hacia el PLC**. En ella se observa que el controlador requiere:

- **Confirmación de ausencia de falla de inserción**, proporcionada por el **contacto normalmente cerrado (NC)** del guardamotor.
 - **Confirmación de funcionamiento**, suministrada por el **contacto normalmente abierto (NA)** del contactor.
 - **Confirmación de temperatura dentro del rango de operación**, proporcionada por el termistor, el cual envía una señal al PLC mientras el contacto permanezca cerrado. En caso de sobrecalentamiento, el contacto se abre, indicando una condición de error y activando las medidas de protección correspondientes.

Este esquema asegura que el PLC reciba información precisa y confiable sobre el estado de los equipos, permitiendo un control seguro y eficiente del sistema.

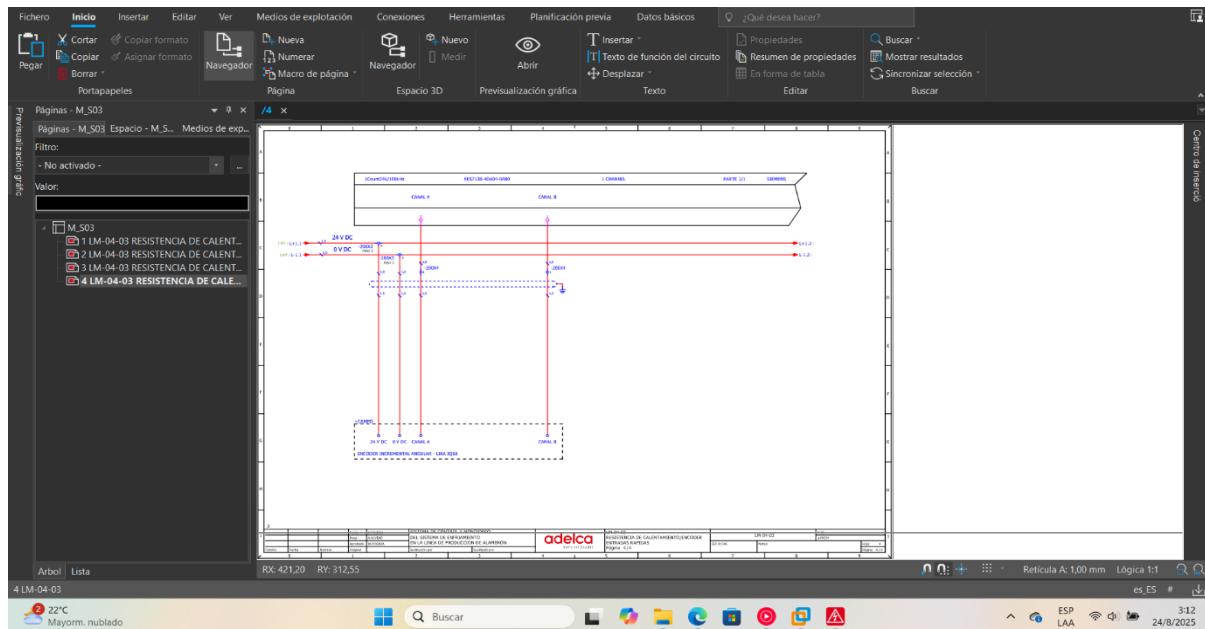
Figura 28.

Conexión de la salida digital del sistema



La imagen muestra la **salida digital del PLC**. La única salida digital física activa está destinada a **excitar la bobina de un relé** con un **contacto commutado**. Cuando la bobina del relé se energiza, el contacto se cierra, permitiendo la alimentación de la bobina del contactor de la resistencia de calentamiento.

Este mecanismo constituye el **punto clave de la automatización**, ya que a través de esta salida digital el PLC controla de manera segura y automática la activación de la resistencia según las condiciones de operación del motor y del sistema.

Figura 29.*Conexión eléctrica del encoder*

En esta ilustración se muestra el **módulo de conteo rápido ET200S** utilizado en planta, modelo **1Count24V/100kHz**. Este módulo recibe únicamente las señales necesarias para el control del encoder:

- **Canal A:** Entrada de pulso.
- **Canal B:** Entrada de sentido de rotación.
- **Alimentación externa:** Proporciona la tensión necesaria para el funcionamiento del módulo.

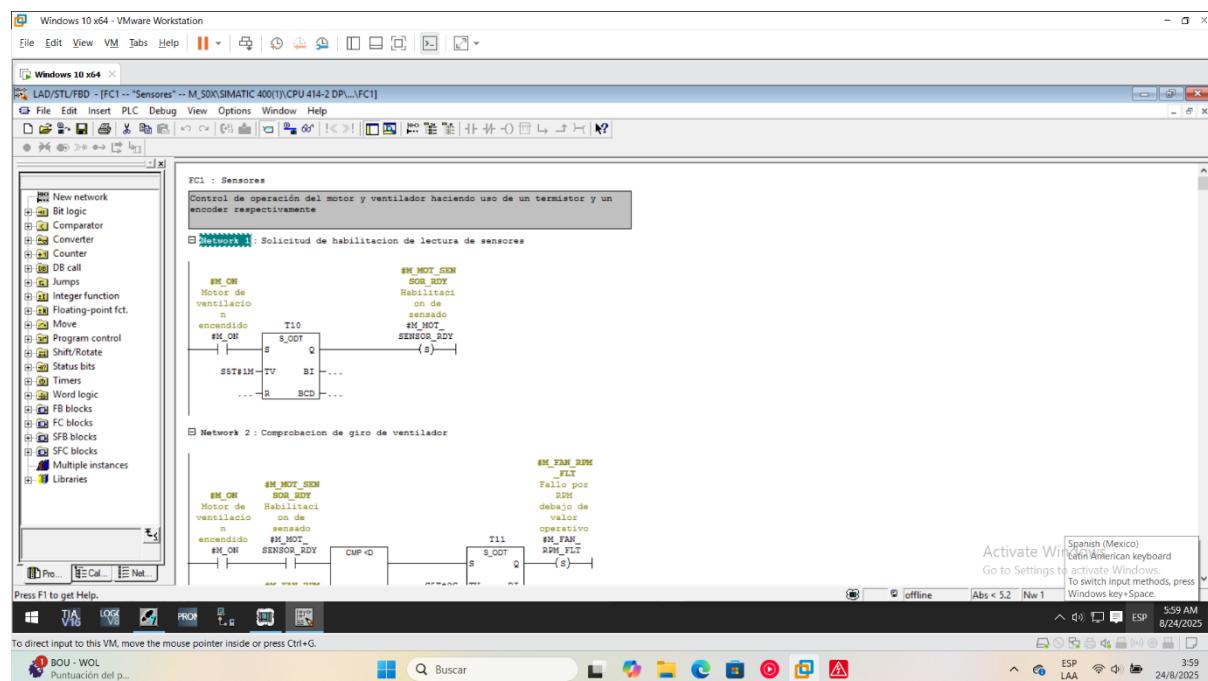
Esta configuración permite al PLC **registrar con precisión la velocidad y dirección de rotación** del ventilador, garantizando la correcta supervisión del sistema de control.

2.3.4 Diseño de software para sensores

La programación del sistema de control se desarrolla en el entorno **SIMATIC Manager**, utilizando el **PLC S7-400** como plataforma de procesamiento.

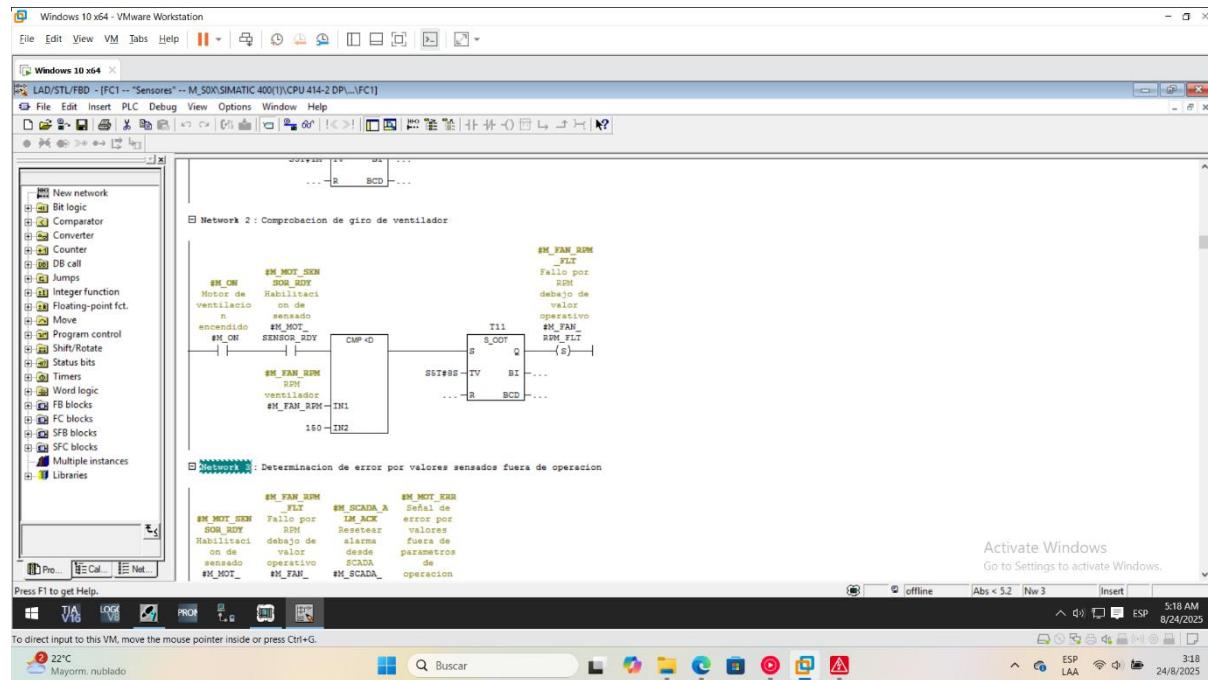
Figura 30.

Configuración de sensores – Network 1



En el **Rung 1** se establece la lógica de habilitación de lectura de sensores. El programa indica que, una vez que el motor se encuentra en funcionamiento, se activa una señal de habilitación para la lectura del encoder transcurrido un minuto. Este retardo corresponde al tiempo estimado para que el motor alcance su velocidad nominal.

Dentro de esta lógica, el contacto identificado como (**S**) corresponde a la instrucción **SET**, la cual mantiene la bobina activada incluso en el caso de que la señal **M_MOT** (motor en marcha) se desactive. Esta configuración actúa como un **enclavamiento abreviado**, asegurando la persistencia de la condición mientras no se ejecute una instrucción de **RESET** correspondiente.

Figura 31.*Configuración de sensores – Network 2*

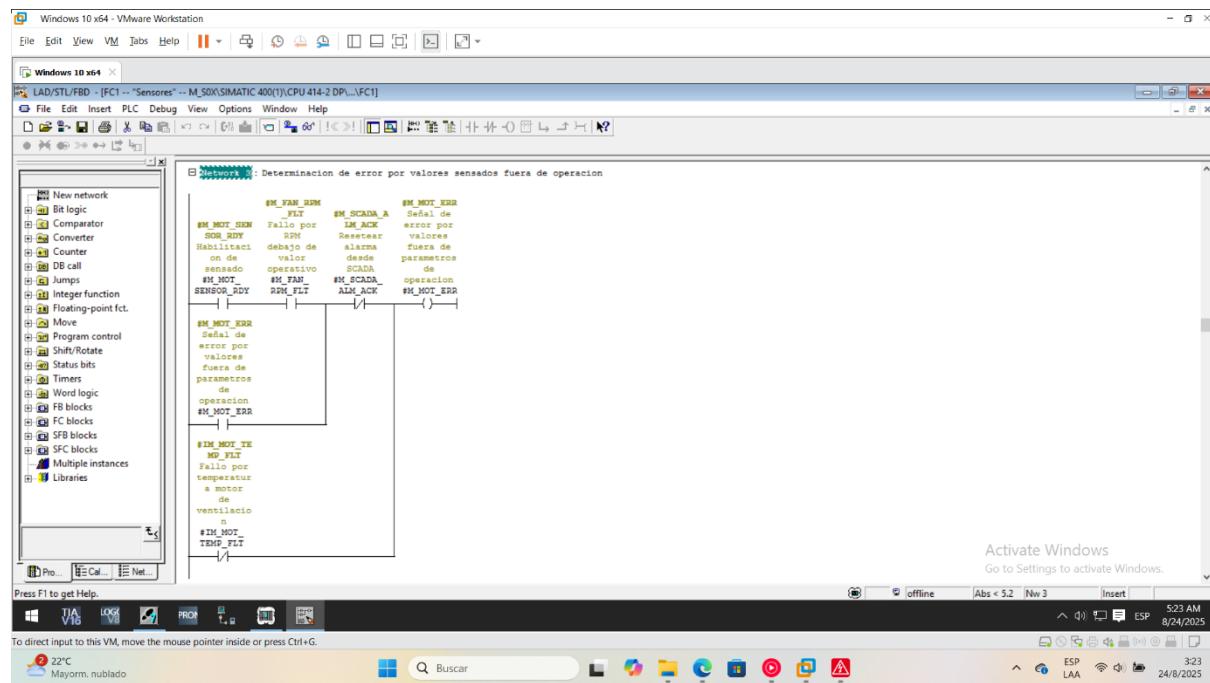
En el **Network 2** se implementa la lógica de supervisión de la velocidad del motor. El programa establece que, cuando el motor se encuentra en funcionamiento y la señal de habilitación de lectura de sensores está activa, se procede a comparar la velocidad actual en RPM con un valor umbral de **150 RPM**. Este valor representa menos del 10% de la **velocidad nominal del motor (1780 RPM)**, por lo que se considera una condición crítica de baja velocidad. Si la velocidad medida es inferior a dicho umbral, se activa un **temporizador configurado con un retardo de 8 segundos**.

En caso de que, transcurrido este tiempo, el motor no recupere su velocidad normal, el sistema genera una **señal de fallo por RPM bajo**. Es importante destacar que esta señal no detiene el motor de manera inmediata, sino que actúa como una alerta de supervisión para el operador o el sistema de control superior.

Adicionalmente, en esta lógica se aplica nuevamente la instrucción **SET (S)**, que funciona como un **enclavamiento de seguridad**, garantizando que la señal de fallo permanezca activa hasta que se ejecute la condición correspondiente de liberación o reinicio.

Figura 32.

Configuración de sensores – Network 3



En el **Network 3** se implementa la lógica de protección para el apagado del motor. La condición principal establece que, cuando la señal de habilitación de lectura de sensores está activa, y mientras las **RPM del ventilador** o la **temperatura del motor** se encuentren fuera de rango, se debe generar la señal **M_MOT_ERR**. Esta señal es crítica, ya que debe integrarse directamente con la lógica de encendido y apagado de motores desarrollada en la programación de la planta, constituyendo la orden de **paro de emergencia del motor**.

Es importante resaltar que la habilitación de lectura del encoder debe ejecutarse únicamente cuando el motor ha alcanzado su **velocidad nominal**. En caso de habilitarse desde el arranque, el encoder registraría valores muy bajos de RPM, lo que activaría inmediatamente **M_MOT_ERR** y provocaría la detención del motor de forma indebida. Por lo tanto, la lógica garantiza que la supervisión por RPM solo se ejecute en condiciones de operación estable.

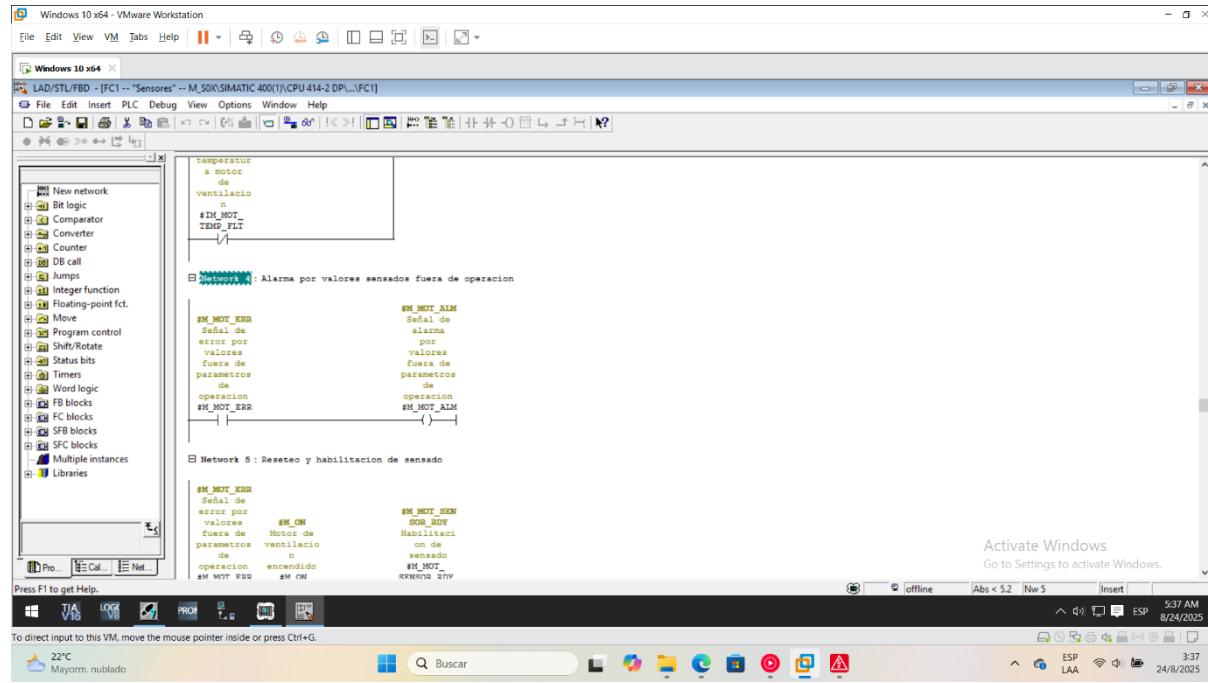
Durante la operación nominal, si la velocidad del ventilador desciende por debajo del umbral establecido, y tras un retardo de **8 segundos**, se activa la señal **M_FAN_RPM_FLT**. Esta condición desencadena a su vez la activación de **M_MOT_ERR**, la cual permanece enclavada incluso si posteriormente la velocidad se estabiliza y la falla de RPM bajo se apaga. Este **enclavamiento** garantiza que el evento de fallo quede registrado y que el motor no vuelva a operar hasta que se realice un **reset manual desde el sistema SCADA**.

Adicionalmente, se establece que si el operador intenta forzar el reset mientras **M_MOT_ERR** y **M_FAN_RPM_FLT** permanecen activos, el motor no podrá ponerse en marcha. Esta restricción constituye una medida de seguridad para evitar la manipulación indebida del sistema. En la misma red se incorpora la señal **IM_MOT_TEMP_FLT**, proveniente del **termistor** instalado en el motor. Este sensor funciona de manera independiente al temporizador y se encuentra activo en todo momento.

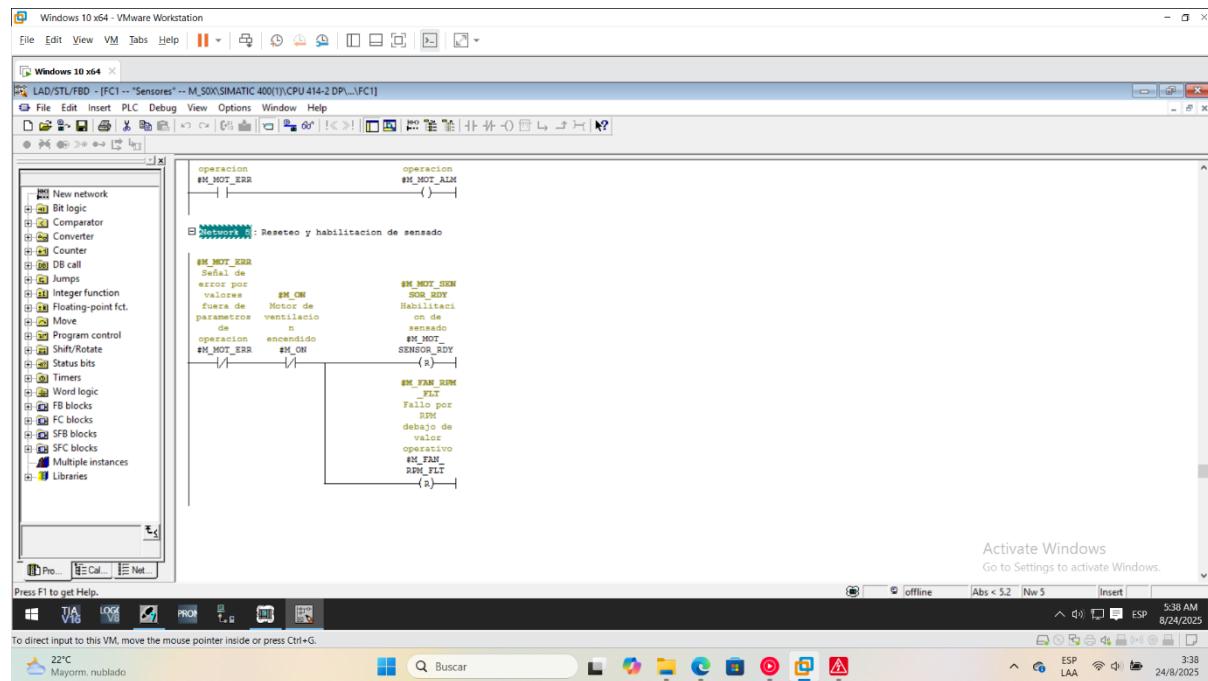
Dado que se trata de un contacto normalmente cerrado (NC), al detectar sobrecalentamiento se abre físicamente, enviando un “0” lógico al PLC. Esta condición indica una dilatación por alta temperatura y provoca la activación inmediata de **M_MOT_ERR**, igualmente bajo un esquema de enclavamiento. La señal solo puede restablecerse mediante el reset desde el SCADA, una vez verificado que el motor ha retornado a condiciones seguras de operación.

Figura 33.

Configuración de sensores – Network 4



Esta línea implementa una lógica sencilla cuya función es activar una señal de alarma una vez que el motor se encuentra detenido por la condición **M_MOT_ERR**. Dicha señal puede integrarse al sistema **SCADA** para su visualización y registro, o bien direccionarse a una **baliza luminosa o dispositivo de señalización local**, con el fin de alertar de manera inmediata al personal de operación sobre la ocurrencia del fallo.

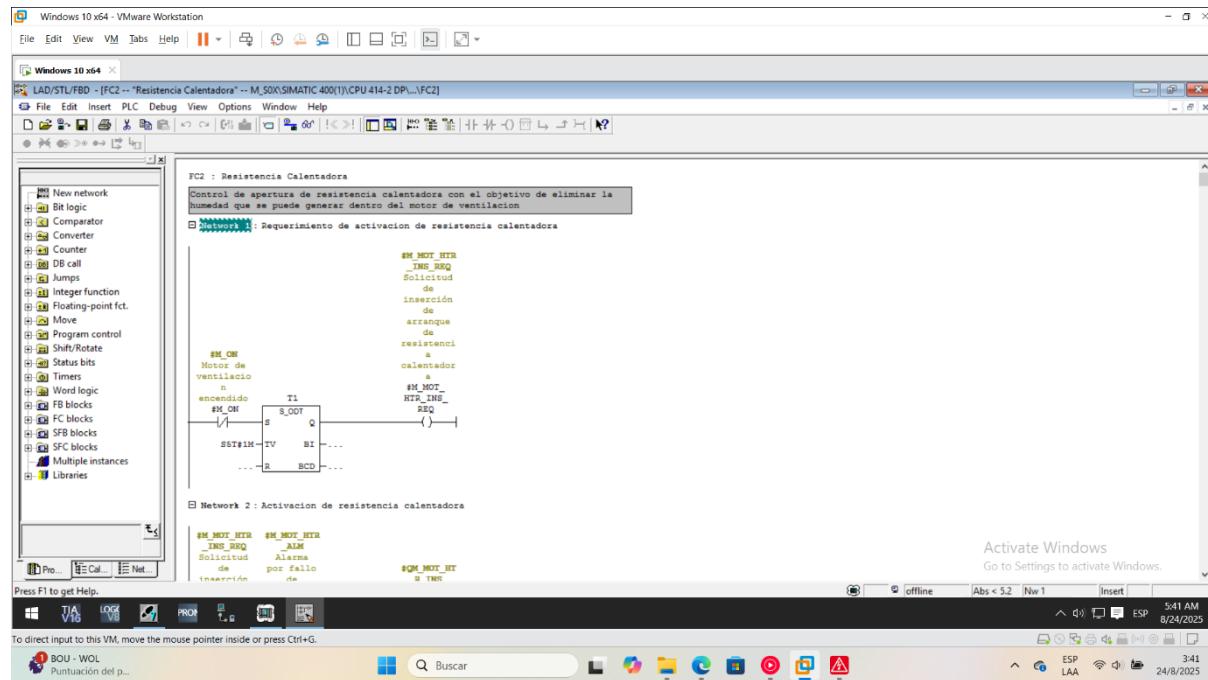
Figura 34.*Configuración de sensores – Network 5*

En este Network 5 se implementa la lógica de **reinicio de enclavamientos**. La condición establece que, siempre que el motor se encuentre detenido y la señal **M_MOT_ERR** esté apagada, se activan automáticamente los contactos (**R**), encargados de liberar los enclavamientos previamente establecidos. Esta lógica garantiza que el motor solo podrá reiniciarse una vez que se encuentre completamente detenido y que no existan señales de fallo activas, asegurando la **integridad del equipo y la seguridad del proceso**.

2.3.5 Diseño de software para resistencia calefactora

Figura 35.

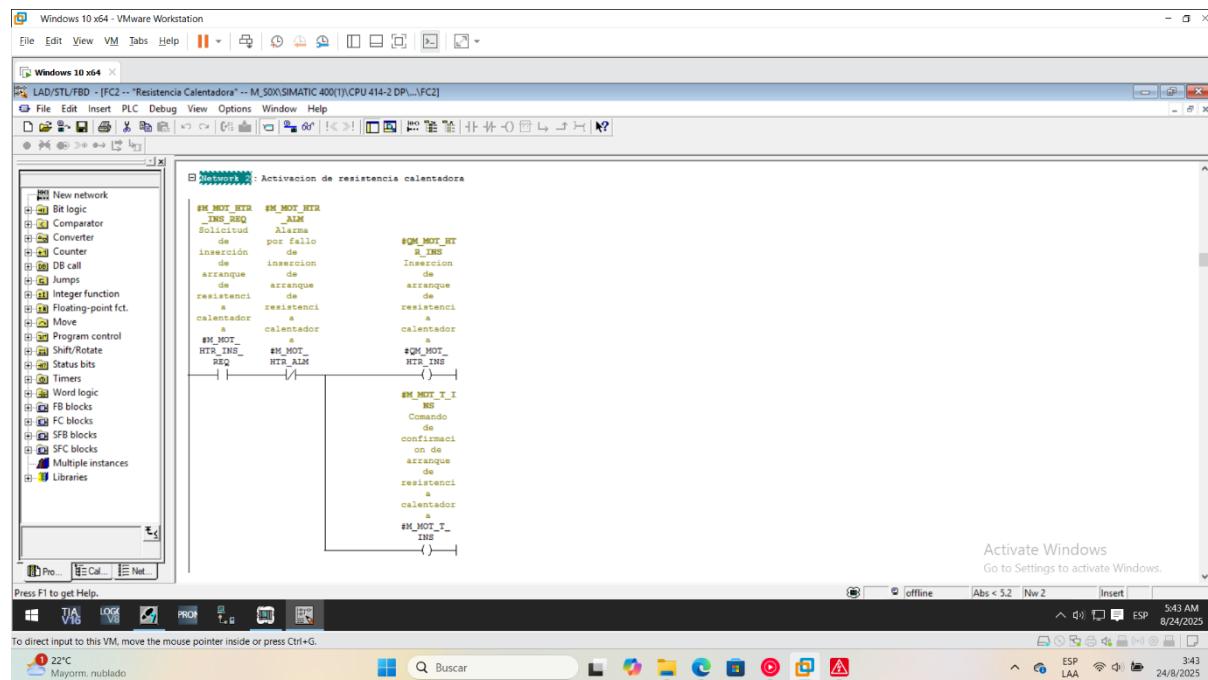
Activación de la resistencia de calentamiento – Network 1



En este **Network 1** se establece la lógica de activación de la **resistencia de calentamiento**. La programación indica que, si el motor se encuentra apagado y, transcurrido un minuto, no se detecta actividad, se envía automáticamente una **señal de solicitud** para encender la resistencia. Esta lógica permite mantener condiciones óptimas de operación, previniendo la acumulación de humedad y posibles daños por corrosión, asegurando así la **protección y prolongación de la vida útil del motor**.

Figura 36.

Activación de la resistencia de calentamiento – Network 2

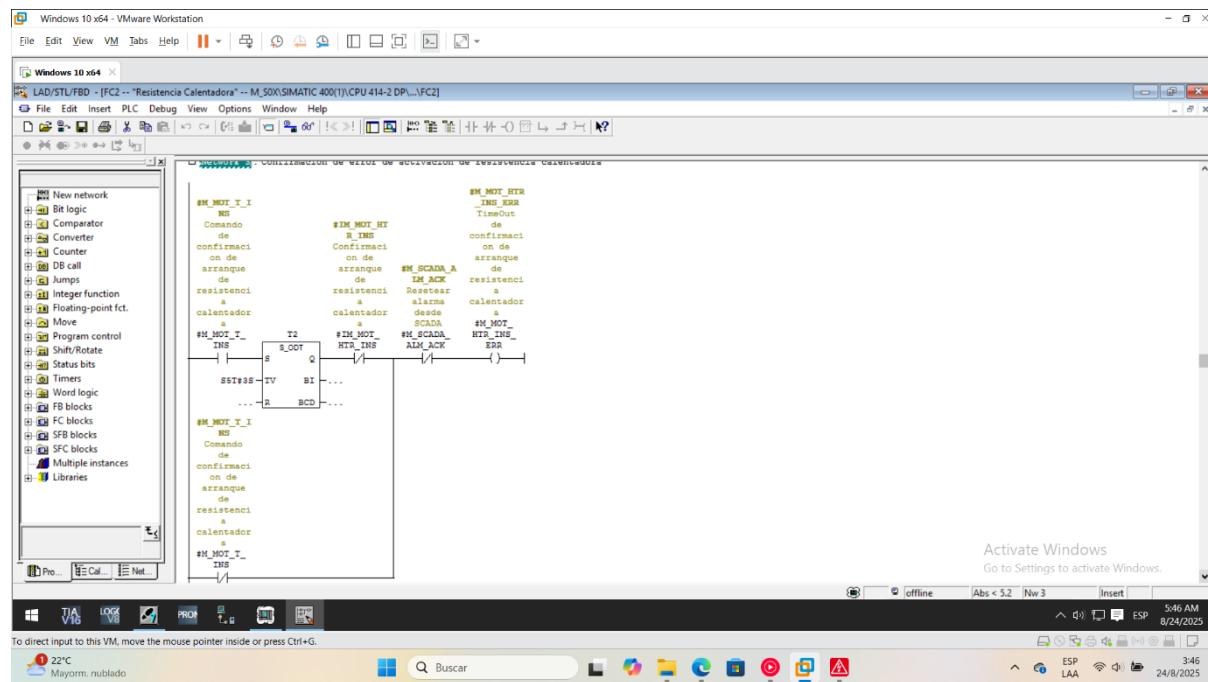


En este **Network 2** se define la lógica para la activación física de la **resistencia de calentamiento**. La programación establece que, siempre que el **requerimiento de encendido** esté activo y no exista ninguna alarma proveniente del **guardamotor o contactor** (lo cual se verifica mediante un contacto normalmente cerrado en la línea siguiente), se procederá a activar la resistencia de manera física.

La señal correspondiente a esta acción se denomina **QM_MOT_HTR_INS**. Adicionalmente, en la línea inferior se incluye una señal de **verificación de apertura**, que permite confirmar que la resistencia está siendo en efecto alimentada y funcionando correctamente.

Figura 37.

Activación de la resistencia de calentamiento – Network 3



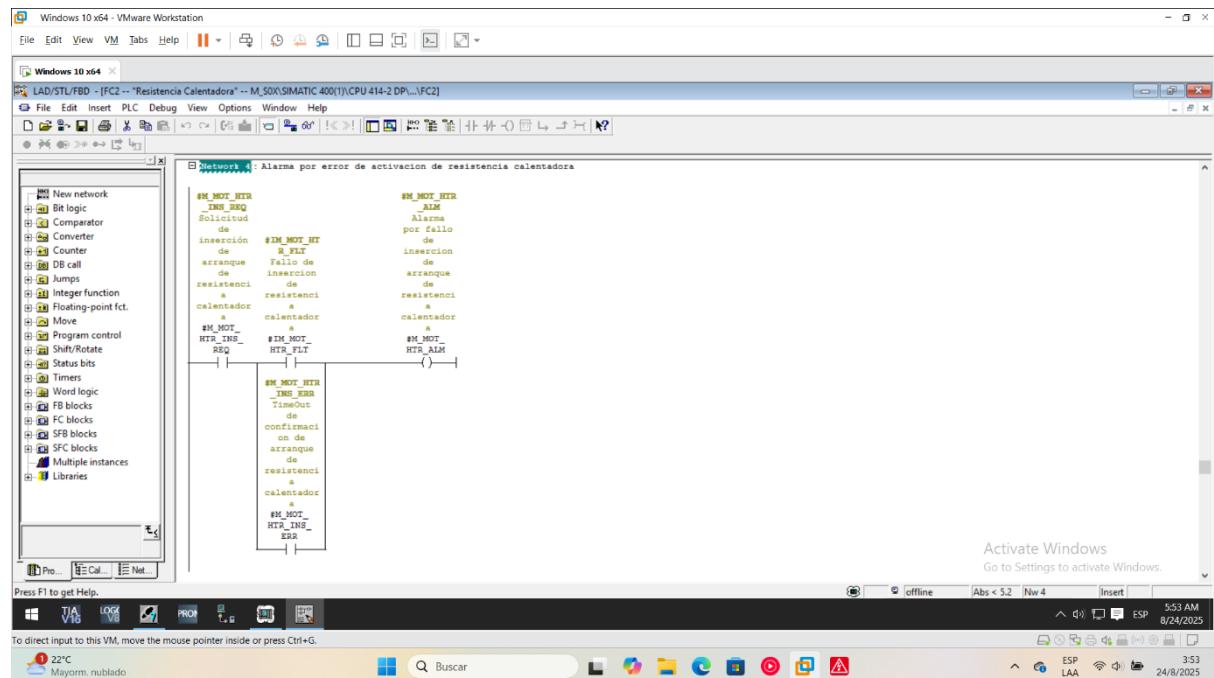
En este **Network 3** se establece la lógica de **verificación de cierre del contactor de la resistencia de calentamiento**. La programación indica que, si la bobina **M_MOT_T_INS** (activada en la línea anterior) está activa, el contactor tiene un máximo de **3 segundos** para cerrar sus contactos de potencia y transmitir esta condición al PLC mediante su **contacto normalmente abierto (NA)** (*ver programación FC2, página 105*).

En caso de que no se reciba la señal de cierre dentro de los 3 segundos, se activa una **bobina de alarma**, la cual interrumpe la salida de activación de la resistencia y se **enclava automáticamente**. El enclavamiento solo puede liberarse mediante el **botón de reset del SCADA**, y únicamente si el contactor o el relé se encuentran en condiciones correctas, ya que existen varias posibles causas que podrían generar esta falla.

La señal de error se mantiene enclavada junto con **M_MOT_T_INS**, asegurando que el sistema no permita la activación de la resistencia hasta que se verifique el correcto funcionamiento del contactor.

Figura 38.

Activación de la resistencia de calentamiento – Network 4



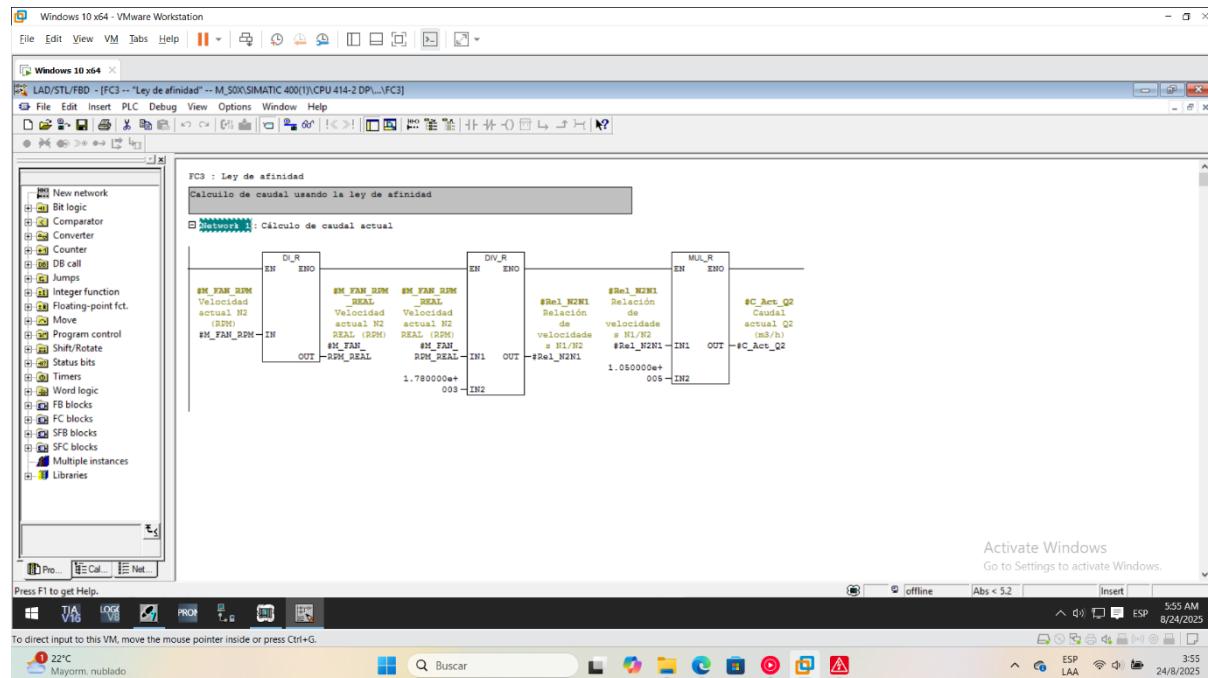
En este Network 4 se define la lógica de activación de la **bobina de alarma de la resistencia de calentamiento**, mencionada previamente en la Figura 36. Esta bobina se activa en dos situaciones principales:

1. Cuando el **contactor no envía la señal de cierre** dentro del tiempo establecido (señal **M_MOT_HTR_INS_ERR** en la línea anterior).
2. Cuando el **guardamotor está apagado** o se ha disparado en cualquier momento durante la operación de la resistencia (señal física **IM_MOT_HTR_FLT**, ver programación FC2, página 106).

Esta señal de alarma sirve para **interrumpir la activación de la resistencia** y garantizar que no opere en condiciones inseguras. Además, es importante mencionar que las señales provenientes del **encoder** y del **termistor** también se encuentran reflejadas en los planos, los cuales deben consultarse para una comprensión completa de la integración del sistema.

Figura 39.

Programación para el cálculo del caudal



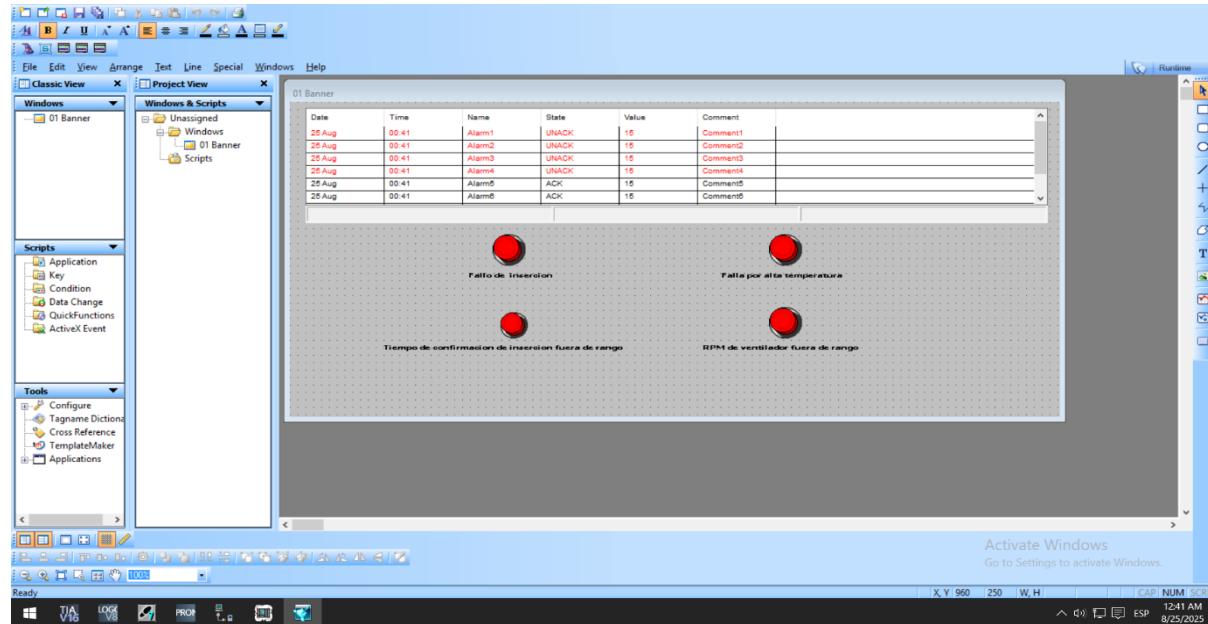
En este **Network 4** se realiza un cálculo basado en la **Ley de Afinidad**, que describe el comportamiento de equipos rotodinámicos como ventiladores, bombas y compresores. La operación de estos equipos se rige por las siguientes relaciones fundamentales:

- Este sistema de control tiene el alcance de poder replicarse para otros sistemas similares que tengan los mismos inconvenientes, por lo que, puntualmente se escoge usar bloques de funciones FC que no almacenan memoria. Estas funciones son reutilizables y solo se necesita llenar parámetros de entrada para su funcionamiento.
- Estas relaciones permiten **predecir el comportamiento de los equipos** al operar a distintas velocidades de rotación (RPM), siempre que se mantenga constante la geometría del sistema y se cumplan condiciones similares de operación. De esta manera, es posible estimar caudal, presión y potencia requerida para ajustar de manera eficiente los parámetros de control del ventilador.

2.3.6 Diseño de software para alarmas

Figura 40.

Diseño del banner de alarmas en InTouch



La ilustración muestra la **pantalla de desarrollo de InTouch**, donde se realiza el **diseño del banner de alarmas**. En esta pantalla se configuran los **tags** a los cuales el banner hace referencia para mostrar las alarmas correspondientes en tiempo real. Adicionalmente, los **botones de simulación** permiten activar las alarmas de manera digital, facilitando la **prueba y validación del funcionamiento del banner** sin necesidad de interactuar con los equipos físicos, garantizando así una verificación segura de la lógica de alarmas.

2.4 Normativas y seguridad

2.4.1 *Principios técnicos y normativas aplicadas*

El diseño del sistema se desarrolló siguiendo los **principios técnicos** y las **normativas internacionales** aplicables, garantizando la seguridad, confiabilidad y correcto funcionamiento de los equipos. Entre los estándares utilizados se incluyen:

- **IEC 60034-11:** Protección térmica de motores eléctricos, que establece los criterios para la prevención de sobrecalentamiento y daños en el bobinado.
- **Siemens (2006):** Manual técnico del PLC **S7-400** y programación modular mediante bloques funcionales (FC), proporcionando lineamientos para la implementación de la lógica de control.
- **ISA-5.1:** Normativa de **simbología de instrumentación**, utilizada para la representación estandarizada de elementos de control y medición en diagramas eléctricos y de instrumentación.
- **IEC 60204-1:** Seguridad de máquinas – equipo eléctrico, que define los requisitos de seguridad eléctrica y protección del personal en instalaciones industriales.

Este conjunto de normas y principios asegura que el sistema cumpla con las condiciones de operación segura, eficiencia en el control y compatibilidad con la infraestructura existente.

2.4.2 *Consideraciones éticas y legales*

El proyecto cumplió con la **normativa de seguridad eléctrica** (IEC 60204-1) y **prevención de riesgos laborales**, sin interferir en los derechos ni seguridad del personal técnico. No se alteró la infraestructura original de la planta y se preservó la confidencialidad de los procesos. Además, el uso eficiente de energía y la prolongación de vida útil de los equipos contribuyeron indirectamente a la sostenibilidad ambiental.

El proyecto se desarrolló cumpliendo estrictamente la normativa de seguridad eléctrica (IEC 60204-1) y las disposiciones relativas a la prevención de riesgos laborales, garantizando en todo momento que no se vulneraran los derechos ni la seguridad del personal técnico. Durante la implementación, no se modificó la infraestructura original de la planta y se mantuvo la **confidencialidad de los procesos** industriales.

Adicionalmente, el diseño promovió un **uso eficiente de la energía** y contribuyó a la **prolongación de la vida útil de los equipos**, aportando de manera indirecta a la **sostenibilidad ambiental** y al cumplimiento de buenas prácticas de responsabilidad corporativa.

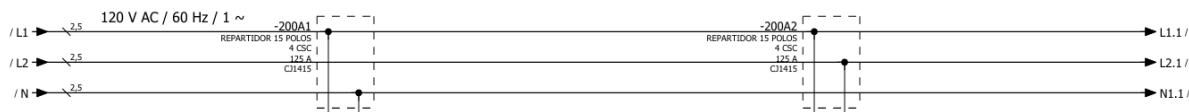
Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1 Planos del diseño del sistema

Figura 41.

Alimentación de servicio

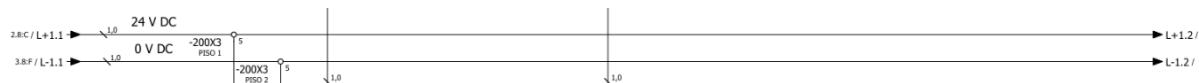


La **alimentación utilizada para la sección de fuerza** del sistema es de **120 V AC a 60 Hz**, frecuencia estándar del país. Esta energía se distribuye mediante un **repartidor de 15 polos** destinado específicamente a la parte de fuerza.

Para la **sección de control**, se emplea un **repartidor independiente de 15 polos**, garantizando una separación adecuada entre las cargas de fuerza y control, y asegurando un suministro confiable y seguro para ambos subsistemas.

Figura 42.

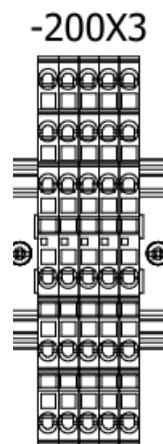
Alimentación de control



La **alimentación de control** del sistema es de **24 V DC**, y se utiliza para suministrar energía a los sensores (termistor y encoder), así como para las **señales de entradas y salidas (E/S)** del PLC. Esta tensión garantiza un funcionamiento seguro y confiable de los dispositivos de control y monitoreo del sistema.

Figura 43.

Borneras de 3 pisos



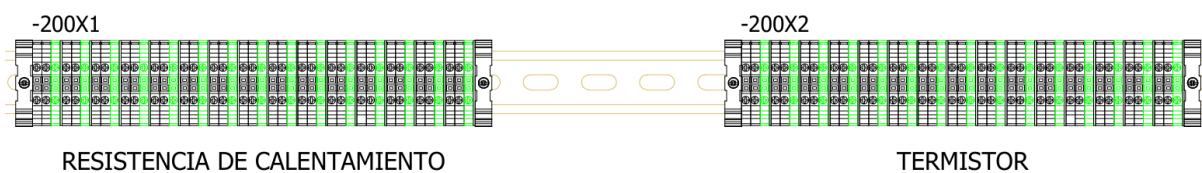
Estas **borneras** constituyen un **elemento fundamental en la sección de control** del sistema. Están organizadas en **tres niveles o pisos**, cada uno con una función específica:

- **Piso 1:** 24 V DC, todas las conexiones están puenteadas para distribuir la tensión de manera uniforme.
- **Piso 2:** 0 V DC, todas las conexiones puenteadas, funcionando como referencia común para el circuito de control.
- **Piso 3:** Señales de **entradas y salidas (E/S)** provenientes del módulo de control.

Esta organización permite una **distribución clara y ordenada de la alimentación y señales**, facilitando el cableado, mantenimiento y expansión del sistema de control.

Figura 44.

Borneras frontera



Estas borneras fronteras son las encargadas de interconectar el tablero de control con los equipos de campo. Para cada dispositivo se emplea un conjunto de tres borneras, tanto para la resistencia como para el termistor:

Resistencia de calentamiento:

- **Bornera 1:** Fase (120 V AC)
- **Bornera 2:** Neutro (0 V AC)
- **Bornera 3:** Tierra (aterrizamiento de la resistencia y malla del cable)

Termistor:

- **Bornera 1:** 24 V DC
- **Bornera 2:** Señal de retorno al PLC
- **Bornera 3:** Malla del cable apantallado

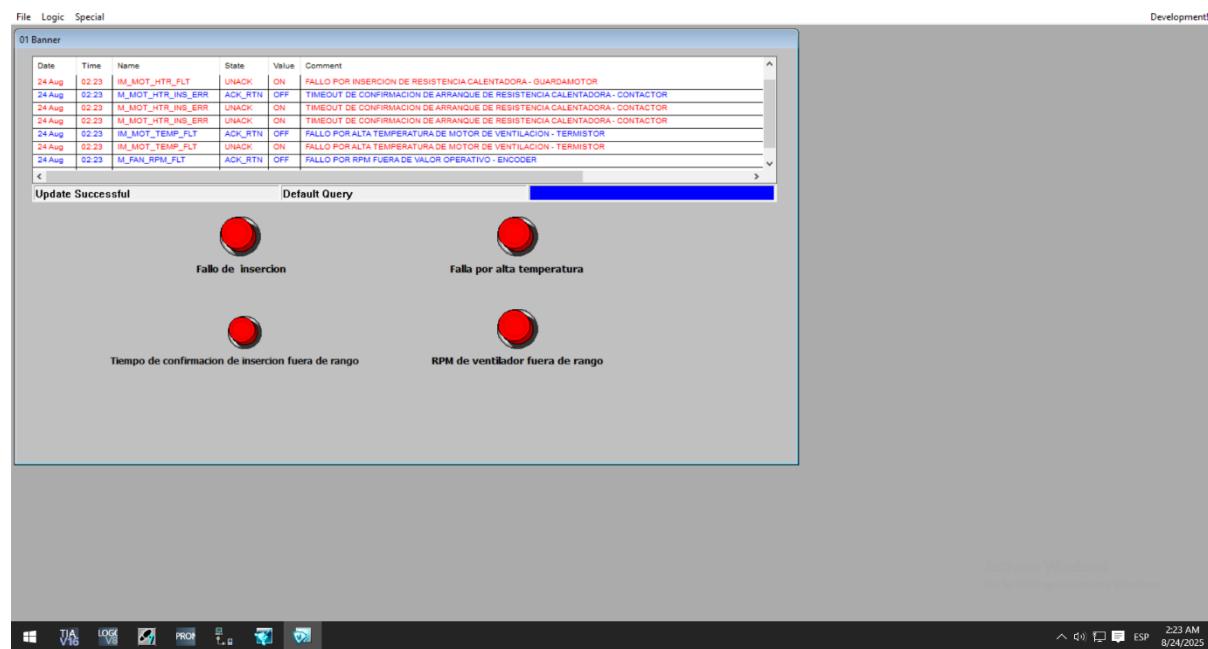
Esta disposición garantiza una **conexión segura, organizada y confiable** entre el tablero de control y los equipos de campo, facilitando el mantenimiento y la protección de las señales eléctricas.

3.2 Simulación y validación técnica

La comunicación entre los **tags del SCADA** y el **PLC** se establece de manera indirecta a través de un **servidor OPC**, lo que permite el **monitoreo en tiempo real** del sistema con una **latencia mínima** prácticamente despreciable. Esta configuración garantiza la integración eficiente de la información y la supervisión continua de las variables críticas del proceso.

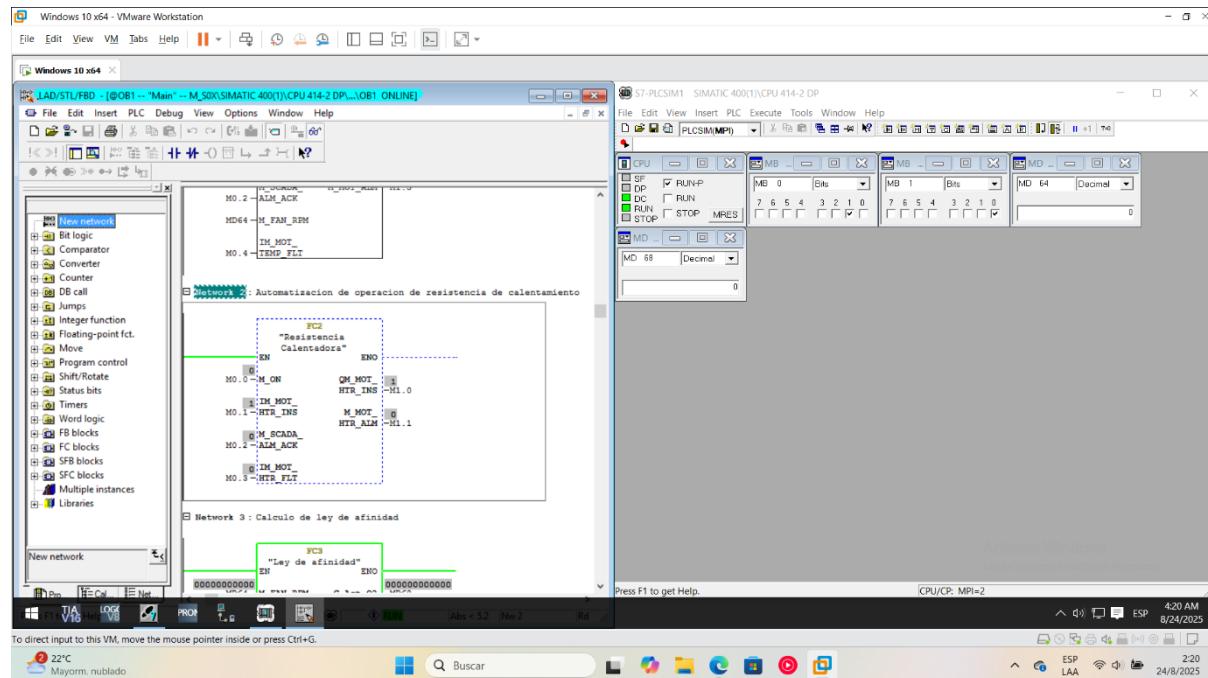
Figura 45.

Históricos de alarmas en tiempo real



Se llevaron a cabo pruebas para verificar el correcto funcionamiento de las alarmas configuradas en el **banner de InTouch**. Durante estas pruebas se utilizaron botoneras virtuales para simular cada posible fallo del sistema.

Cabe destacar que la evaluación se realizó exclusivamente en el entorno de software, sin conexión directa a las variables de la planta del cliente, garantizando así la seguridad de la operación mientras se valida la lógica de alarmas.

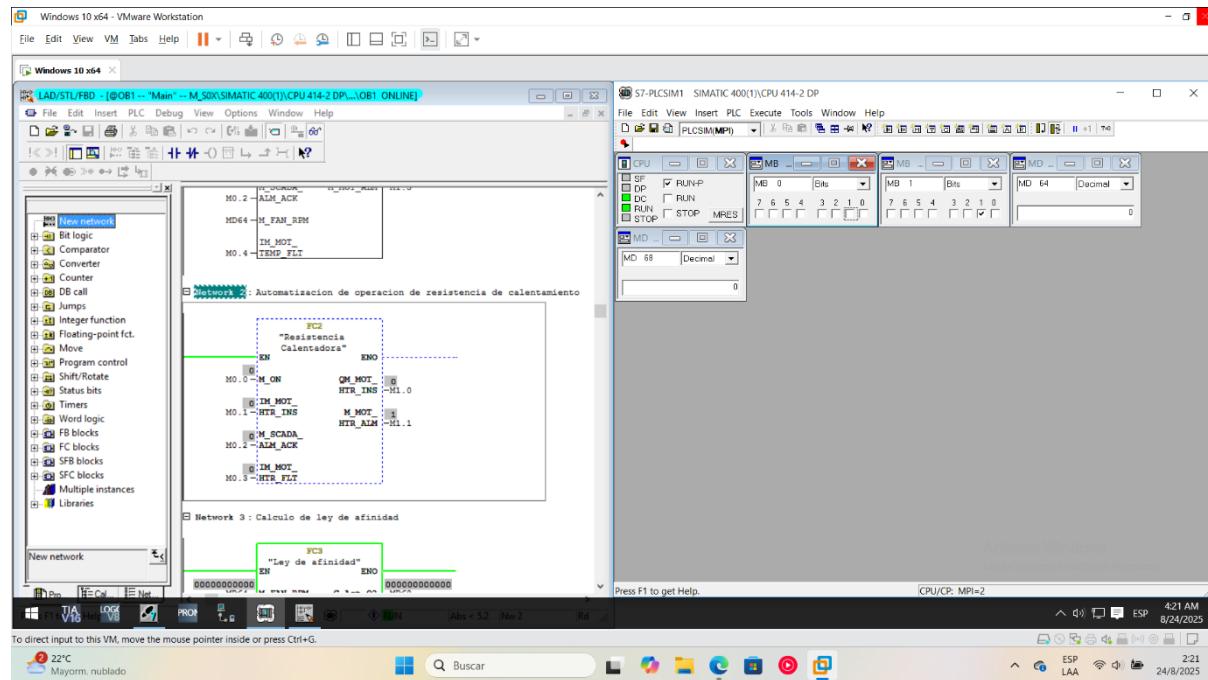
Figura 46.*Activación de la resistencia de calentamiento – Prueba 1*

La **Prueba 1** consiste en verificar el funcionamiento correcto del sistema bajo condiciones normales. En este escenario, el motor se encuentra apagado, y transcurrido un minuto, la resistencia de calentamiento debe activarse automáticamente.

Durante la prueba, el contactor cierra sus contactos, enviando al PLC la señal de que la resistencia está efectivamente alimentada, mientras que el guardamotor permanece encendido y no se ha disparado. En este caso, se confirma el correcto funcionamiento del sistema: la señal **QM_MOT_HTR_INS** se activa, indicando la operación de la resistencia, y la señal de alarma **M_MOT_HTR_ALM** permanece apagada, reflejando la ausencia de fallas.

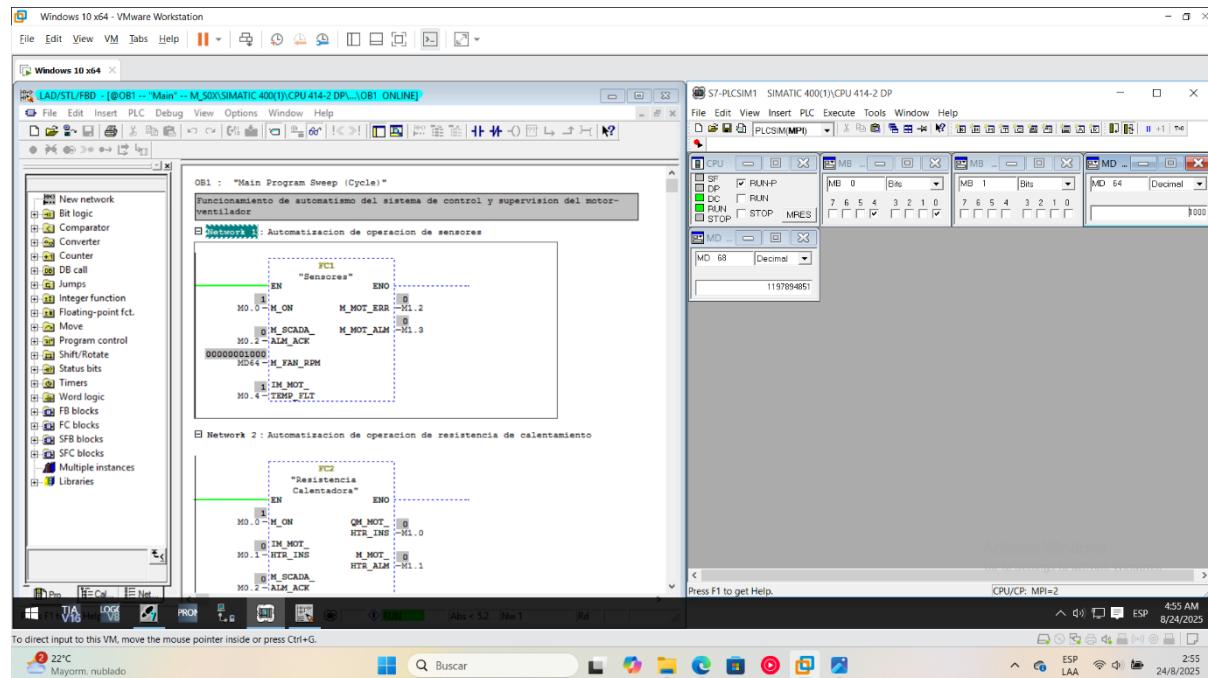
Figura 47.

Activación de la resistencia de calentamiento – Prueba 2



La **Prueba 2** es similar a la Prueba 1, pero se evalúa el escenario en el que el contactor no cierra. Esto puede ocurrir debido a diferentes causas, como un relé físico dañado asociado a la salida digital **QM_MOT_HTR_INS**, un módulo de salida digital defectuoso, fallas en el cableado o daños en el contactor.

En esta situación, el PLC no recibe la señal de alimentación de la resistencia. Como consecuencia, se activa la alarma **M_MOT_HTR_ALM**, indicando la falla, y la señal de operación de la resistencia (**QM_MOT_HTR_INS**) permanece apagada. Este caso permite verificar la correcta detección de fallas y el enclavamiento de seguridad del sistema de resistencia de calentamiento.

Figura 48.*Configuración de sensores – Prueba 1*

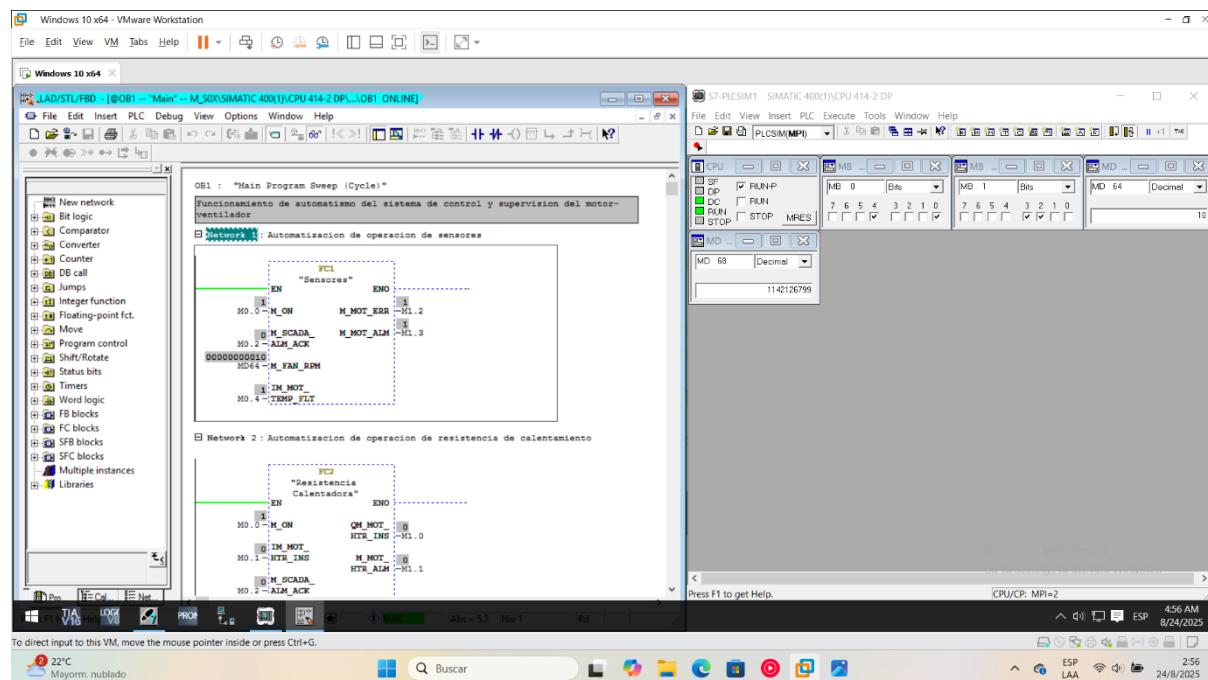
La **Prueba 1** tiene como objetivo verificar el correcto funcionamiento del sistema bajo condiciones normales. En este caso, el **motor se enciende** y se espera un minuto, tiempo estimado para que alcance su **velocidad nominal**. Una vez transcurrido este período, el **encoder** comienza a operar automáticamente.

Esta estrategia evita que se generen errores prematuros, ya que, si el encoder se activa desde el arranque del motor, registraría **RPM bajas**, lo que provocaría la activación innecesaria de la señal de error. Por su parte, el **termistor** funciona de manera independiente y envía la señal de error únicamente cuando detecta un **sobrecalentamiento**, sin depender del tiempo de arranque del motor. En esta prueba, dado que todo funciona correctamente, **no se activa la alarma M_MOT_ALM ni la señal de error M_MOT_ERR**.

Es importante señalar que la señal **M_MOT_ERR** está diseñada para integrarse con la programación principal de la planta de laminados, de manera que, cuando esta señal se active, pueda enviar la orden de **paro del motor**. La integración de este bit con el programa principal debe realizarla el personal encargado del control de la planta.

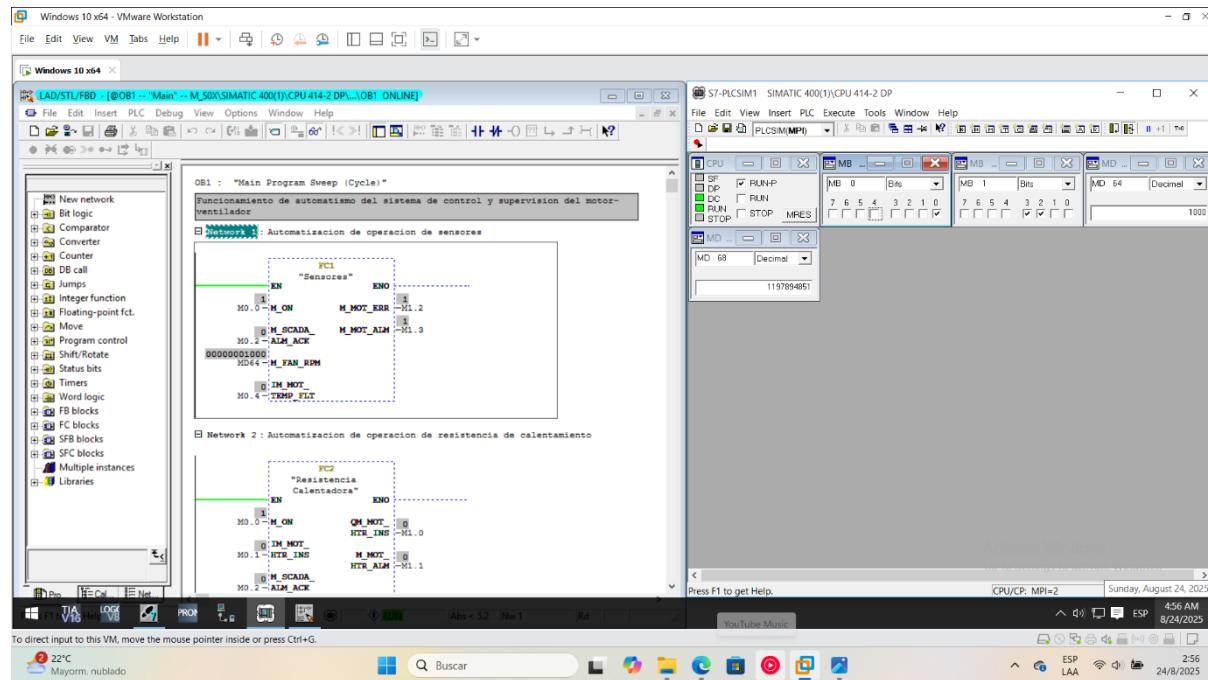
Figura 49.

Configuración de sensores – Prueba 2



En esta prueba se simuló una condición en la que las **RPM del ventilador caen significativamente**, registrándose un valor muy bajo (10 RPM). Como resultado, el sistema activa la alarma correspondiente y genera la señal de error **M_MOT_ERR**, la cual se envía al **SCADA** para notificación en tiempo real.

Adicionalmente, la activación de **M_MOT_ERR** provoca la detención del motor, cumpliendo con la función de **protección del equipo** ante condiciones anómalas de operación.

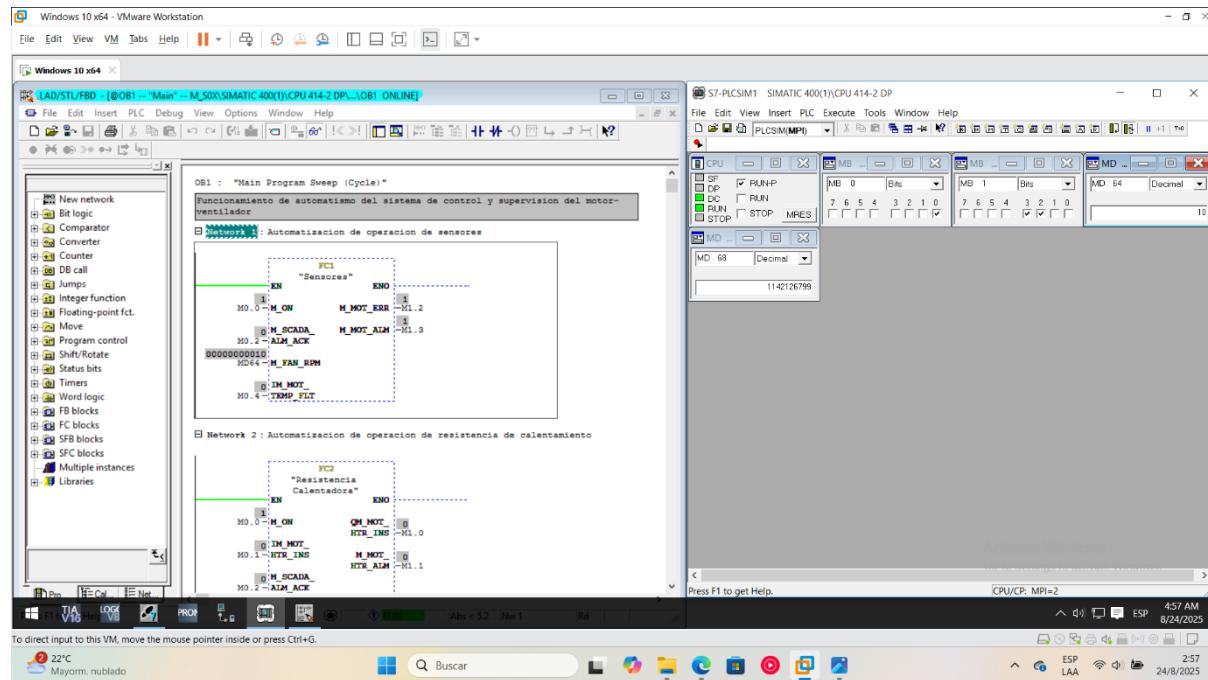
Figura 50.*Configuración de sensores – Prueba 3*

La **Prueba 3** evalúa la respuesta del sistema ante un **sobrecalentamiento** del motor, y es similar a la Prueba 2. En esta prueba, el **termistor** detecta dilatación por alta temperatura, lo que provoca la apertura de su contacto normalmente cerrado, cambiando la señal de la entrada digital del PLC **M0.4** de 1 a 0.

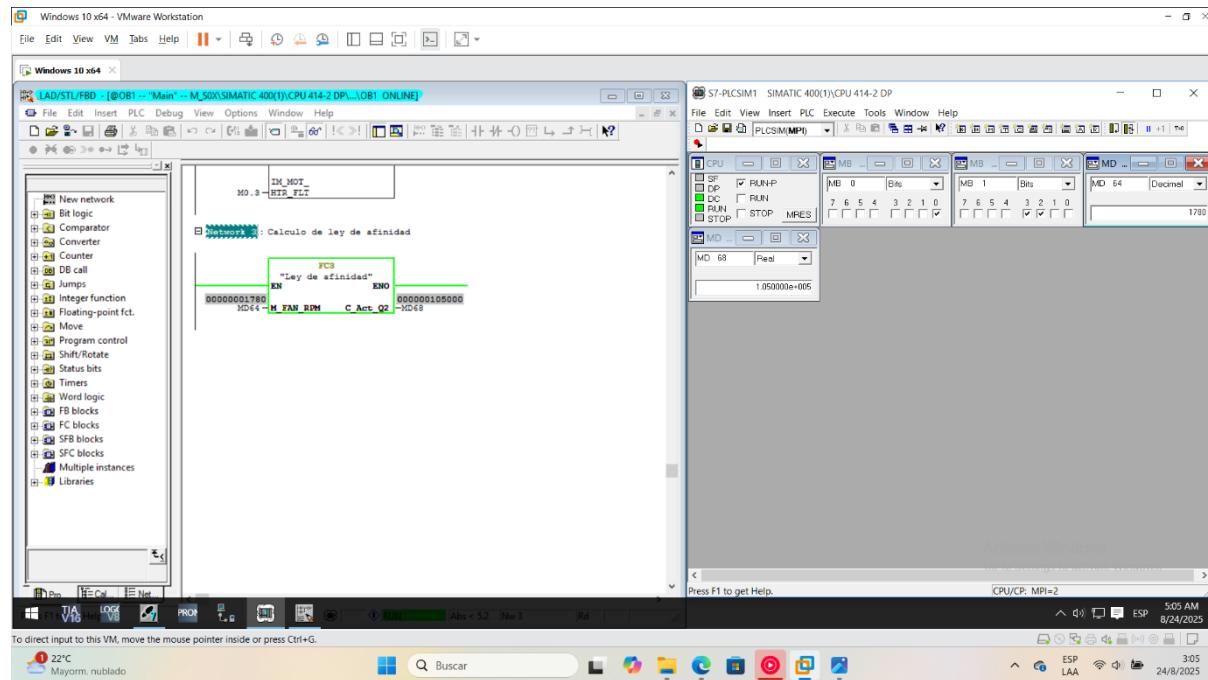
Cuando **M0.4** se encuentra en cero, indica que el motor ha alcanzado una condición de sobrecalentamiento. Ante esta situación, el sistema **activa la alarma correspondiente** y la señal de error **M_MOT_ERR** se establece en 1, provocando la detención automática del motor como medida de protección.

Figura 51.

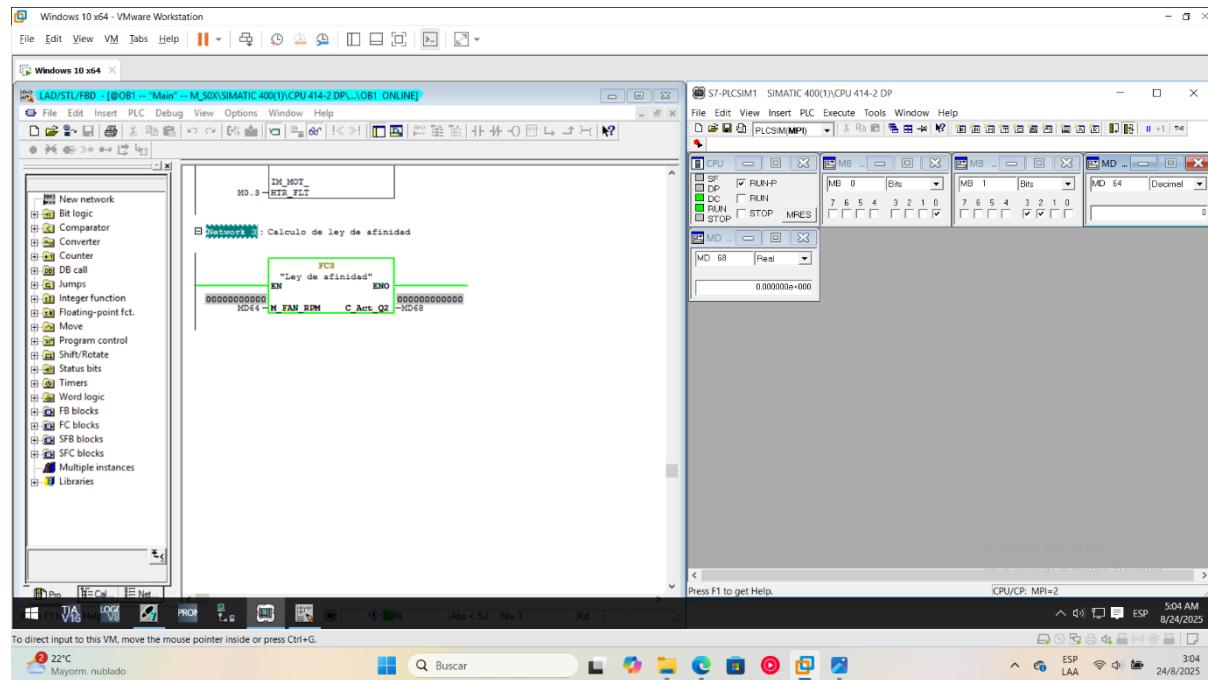
Configuración de sensores – Prueba 4



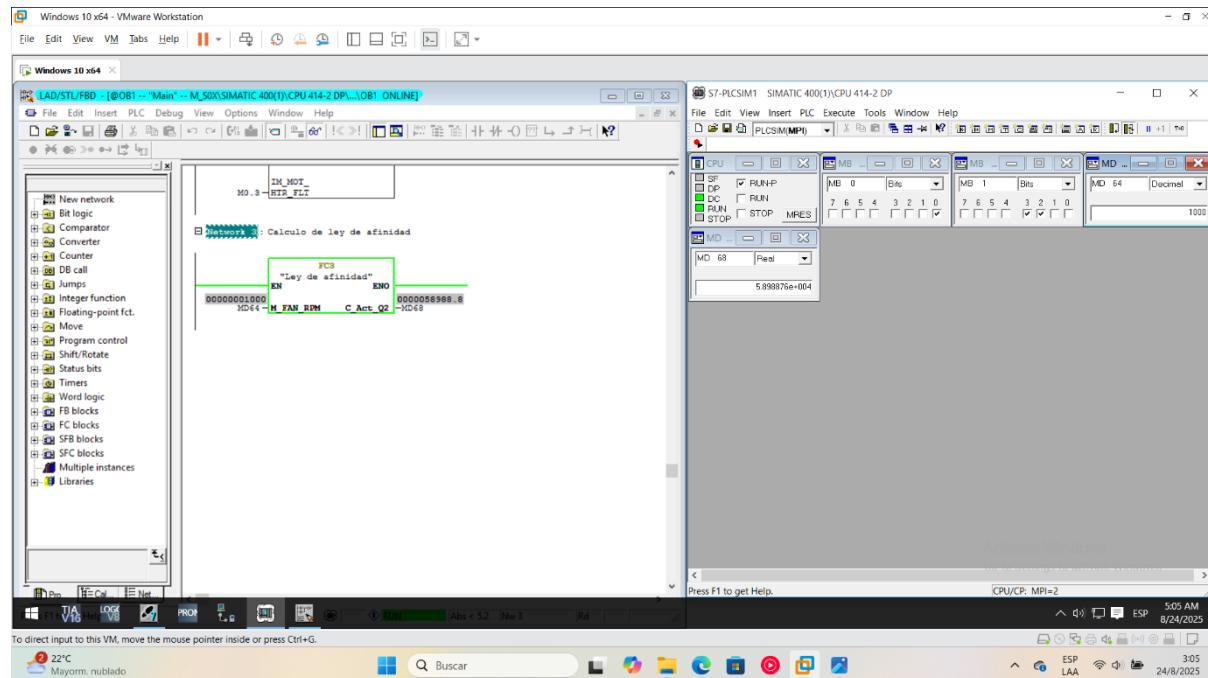
En esta prueba se evalúa un escenario crítico, en el que el **termistor indica sobrecalentamiento del motor** y, simultáneamente, las **RPM del ventilador se encuentran muy bajas**. Bajo estas condiciones, el sistema opera de manera consistente con los casos anteriores: se activa la alarma correspondiente y la señal de error **M_MOT_ERR** se establece en 1, provocando la detención automática del motor como medida de protección y prevención de daños.

Figura 52.*Cálculo de caudal – Prueba 1*

La Ley de Afinidad se aplica como un cálculo para relacionar la velocidad de rotación del ventilador con el caudal volumétrico. En esta prueba se evaluó el comportamiento del sistema a la **velocidad máxima de 1780 RPM**, la cual debería corresponder idealmente al **caudal volumétrico máximo de 105,000 m³/h**. Los resultados obtenidos confirmaron que esta relación se cumple, verificando la correcta aplicación de la Ley de Afinidad en el cálculo y control del ventilador.

Figura 53.*Cálculo de caudal – Prueba 2*

En la **Prueba 2** se evalúa el comportamiento del sistema a la **velocidad mínima del ventilador**, correspondiente a **0 RPM**. En esta condición, el ventilador permanece detenido, lo que resulta en un **caudal volumétrico de 0 m³/h**, cumpliendo con lo esperado según la **Ley de Afinidad** y verificando la coherencia de la relación entre velocidad y caudal en todo el rango de operación del equipo.

Figura 54.*Cálculo de caudal – Prueba 3*

En la **Prueba 3** se evaluó el sistema a una **velocidad intermedia de 1,000 RPM**, la cual corresponde a un **caudal volumétrico teórico de 58,988.8 m³/h** según los cálculos de la Ley de Afinidad. Aunque este valor debería reflejarse en el **SCADA**, su visualización no se encuentra dentro del alcance de los objetivos definidos para este proyecto.

Validación de la simulación: A partir de las pruebas realizadas, se comprobó que el sistema responde de manera adecuada tanto en condiciones normales como en escenarios de falla, donde la lógica de control diseñada permite la activación y desactivación de alarmas en tiempo real, garantizando la seguridad del motor y de los equipos asociados. Asimismo, la simulación confirmó la correcta detección de sobrecalentamiento, fallas en el contactor y variaciones en la velocidad del ventilador. Estos resultados validan que la programación y la arquitectura del sistema cumplen con los objetivos planteados, asegurando confiabilidad en la supervisión y operación remota del proceso.

3.3 Costos de implementación

Tabla 4.

Costos de materiales para implementación

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Total
				Unitario	
1	Riel chanel 40x40mm de 3 metros	5	UND	14,50	72,50
2	Perno expansor galvanizado 3/8"x2"	15	UND	0,45	6,75
3	Tornillo autoperforante de 3/16"	200	UND	0,06	12,00
4	Electrocanal de 30x5 cm con uniones	20	UND	26,00	520,00
5	Disco de corte de 4"x1/16"	13	UND	1,50	19,50
6	Electrocanal de 20x5 cm con uniones	18	UND	20,00	360,00
7	Guardamotor 3rv2011-0ja10 0.7-1a	15	UND	79,96	1199,40
8	Cable flexible #18 awg color azul	100	MTRS	0,17	17,00
9	Amarra plastica 40cm collarin	3	PAQ	6,80	20,40
10	Amarra plastica 10cm collarin	3	PAQ	1,00	3,00
11	Terminal stafix para cable #18 azul	3	PAQ	2,27	6,81
12	Marcador negro permanente punta fina	5	UND	3,85	19,25
13	Marcador negro permanente punta media	5	UND	3,90	19,50
14	Canaleta ranurada de 100x60mm	1	UND	24,00	24,00
15	Riel din de 1 metro	5	UND	2,80	14,00
16	Bornera 1polo 24a (22-12)awg	70	UND	2,60	182,00
17	Bornera de tierra 1p 20-10awg	35	UND	3,95	138,25
18	Repartidor 4 csc polo125a-15conex cj1415	2	UND	53,66	107,32
19	Tapa p/electrocanal 20cm	20	UND	13,80	276,00
20	Tapa p/electrocanal 30cm	19	UND	13,80	262,20
21	Contactor 12a 3rt2024 bobina 220v	15	UND	48,57	728,55
22	Modulo union 3ra2923-2aa1	15	UND	38,65	579,75
23	Rele 24 dc siemens 3rq4118-1am00	1	UND	25,37	25,37
24	Borna de tres pisos - sección 2,5mm2, 28-12 awg	5	UND	5,48	27,40
25	Puente contiguo aislado para borna tres pisos	6	UND	0,50	3,00
26	Protector termico bimetalico thermik s01	15	UND	8,08	121,20
27	Encoder incremental programable lika iq 58	1	UND	382,86	382,86
28	Resistencia de calentamiento flexible	15	UND	25,00	375,00

TOTAL	5523,01
-------	---------

Tabla 5.*Costos de manos de obra ingenieril*

Costos Ingeniería		
Días	Horas diarias	Costo Hora
15	8	25,00
	Gastos movilización	230,00
TOTAL		3230,00

3.4 Análisis ROI

La implementación de esta propuesta rondaría los 8.753 USD en conjunto materiales y rubros de mano de obra ingenieril, representa una solución altamente rentable frente a los costos actuales derivados de fallas recurrentes en motores y ventiladores, que en los últimos tres años han significado pérdidas por más de 58.000 USD, además del riesgo de comprometer la calidad de la producción, como ocurrió este año con 19 toneladas de alambrón. Aun bajo un escenario conservador, donde se valore el alambrón en 1.000–1.200 USD/ton, la pérdida en un solo evento oscila entre 19.000 y 22.800 USD, lo que evidencia la magnitud del problema y justifica la inversión. Con estas cifras, el proyecto no solo se paga a sí mismo en pocos meses, sino que también asegura ahorros anuales superiores a los 39.000 USD, incrementa la confiabilidad operativa y protege la reputación como líder siderúrgico en Ecuador.

3.5 Modelado 3D e implementación propuesta

Figura 55.

Camino con sistemas de enfriamiento (motor-ventilador) en el tapete del alambrón

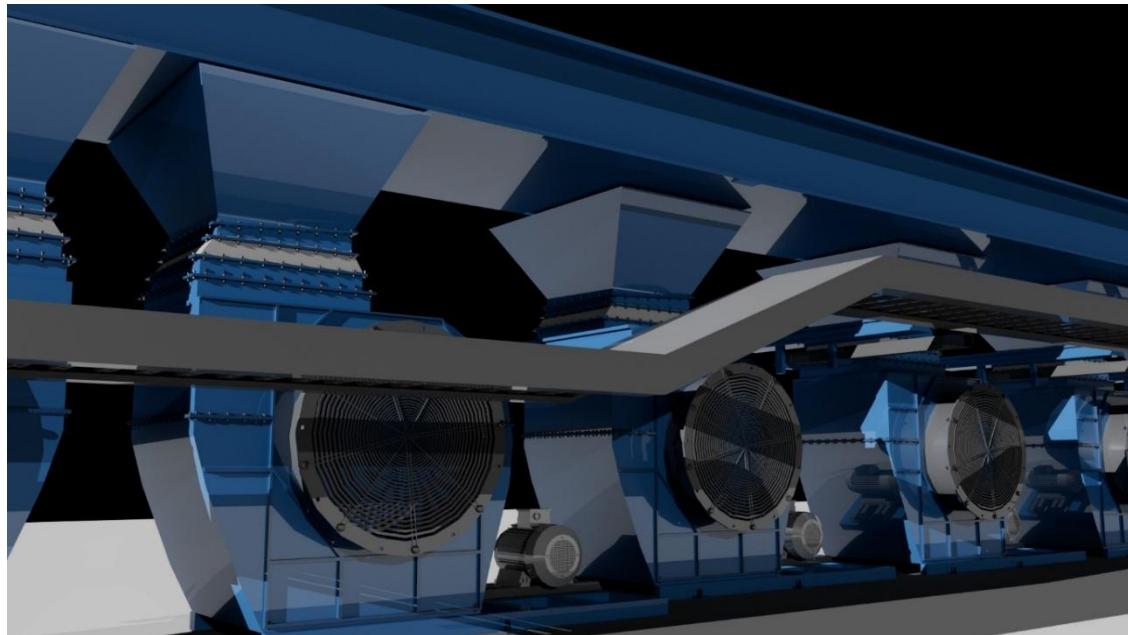


Figura 56

Vista 3D aérea de canaletización cubierta galvanizada

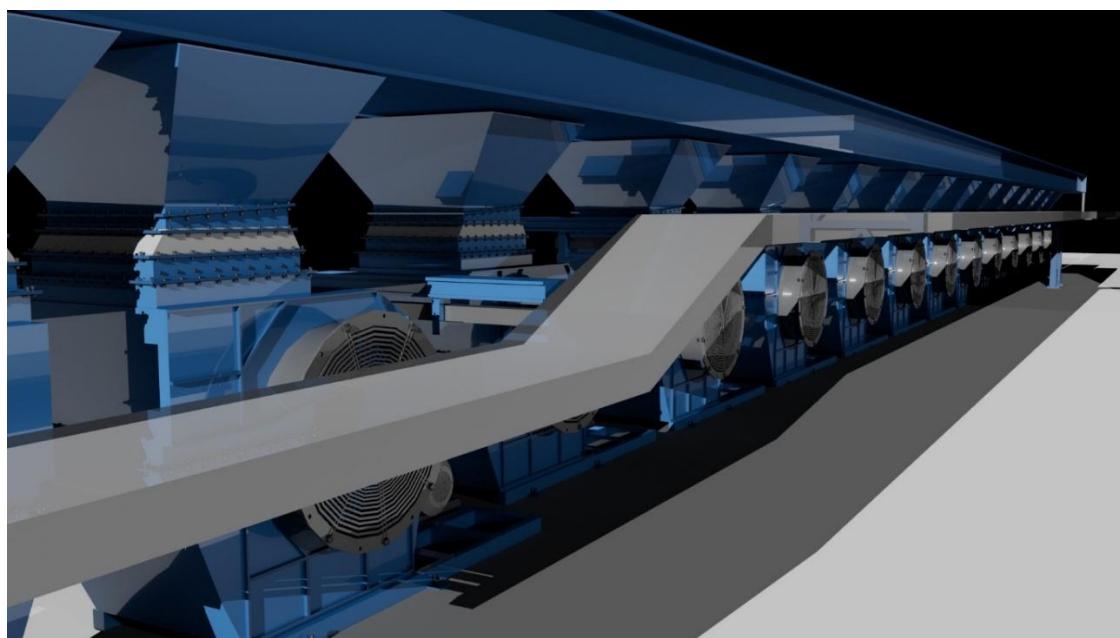


Figura 57

Vista 3D del cuarto de tableros

**Figura 58**

Vista 3D del tablero eléctrico modificado para la implementación del proyecto



Figura 59

Vista 3D de las modificaciones efectuadas en el tablero intervenido

**Figura 60**

Vista 3D con los elementos ya existentes en el tablero previo a intervenir

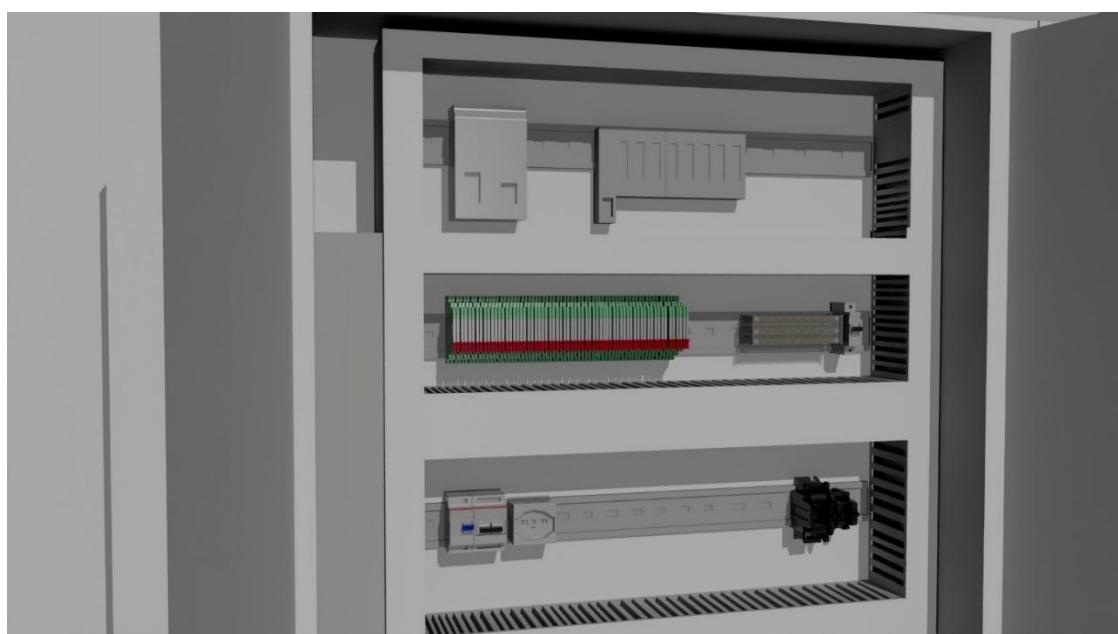
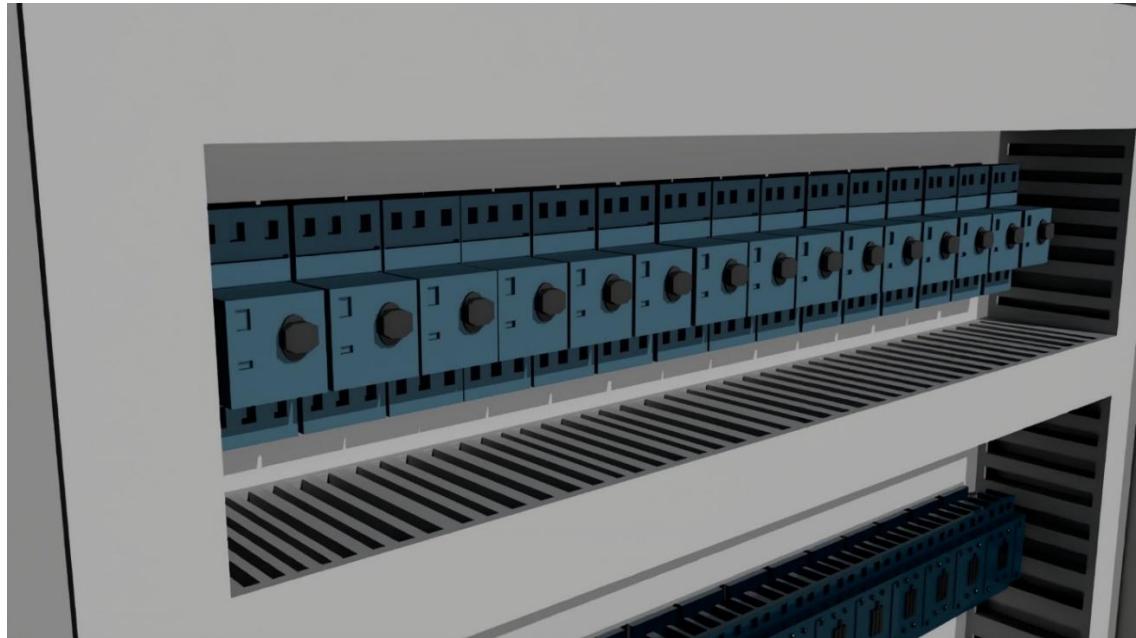
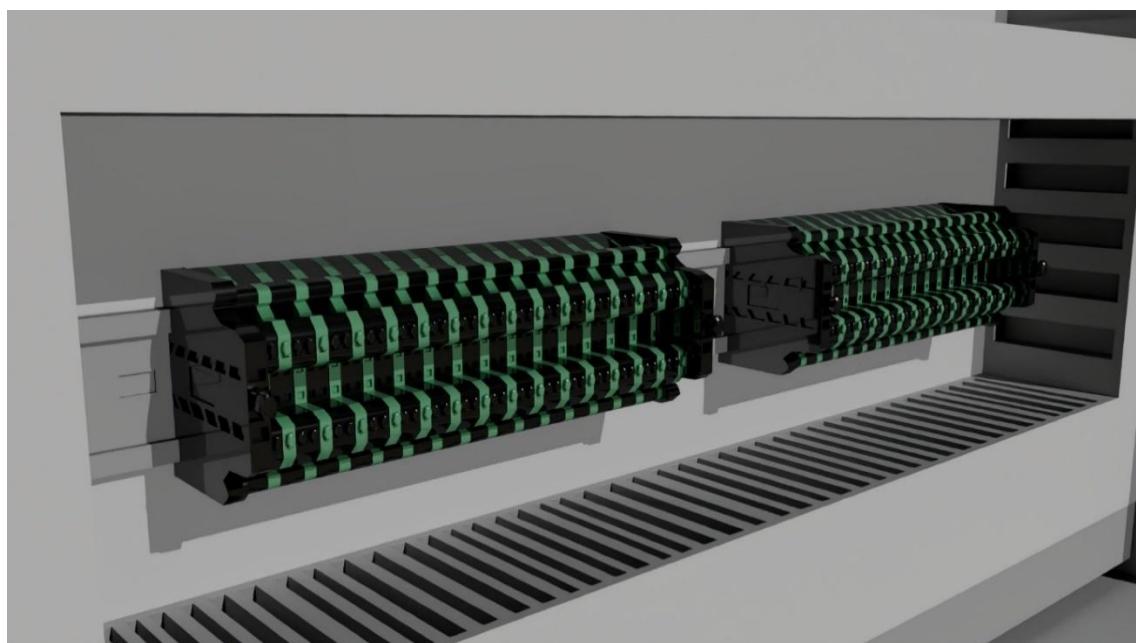


Figura 61

Vista 3D con los 15 guardamotores usados en la activación de las resistencias calefactoras

**Figura 62**

Vista 3D con las borneras simples para las resistencias calefactoras(izquierda) y termistores (derecha)



Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

El cumplimiento de los objetivos planteados demuestra la fiabilidad de los resultados obtenidos, sobre los cuales se sustentan por las siguientes conclusiones:

- Se demuestra la eficiencia del sistema automatizado basado en la activación de una resistencia de calentamiento en periodos inoperativos de producción, diseñado en SIMATIC Manager mediante bloques de funciones. Este mecanismo contribuye a prolongar la vida útil del motor trifásico en condiciones extremas de calor y humedad, gracias a una programación clara e intuitiva que además permite integrarlo a otros sistemas con características similares sin mayor complejidad.
- El monitoreo del umbral de temperatura mediante la implementación de un termistor tuvo un efecto significativo para la prolongación de la vida útil del aislamiento y del devanado del estator del motor, al detenerlo automáticamente ante sobrecalentamientos internos. Estas paradas generan menor impacto en comparación con el tiempo requerido para los mantenimientos correctivos tras daños permanentes, garantizando la continuidad operativa del sistema durante la producción.
- La elaboración de un sistema de monitoreo continuo del flujo volumétrico en tiempo real del ventilador mediante un encoder facilita a la parte operativa, la verificación del correcto funcionamiento y detección de fallas del equipo de manera remota desde un SCADA. Este sistema brinda valores fiables de caudal y garantiza que durante la producción el flujo de aire en la campana extractora se mantenga constante sin comprometer la calidad del alambrón.

- El registro de los eventos historizados en el SCADA contribuirá potencialmente al análisis de incidentes no programados y facilitará la detección de averías de forma más eficiente, previniendo mayores complicaciones en el sistema. Además, los históricos al ser una herramienta colaborativa para el departamento de mantenimiento en la elaboración de planes predictivos y preventivos favorecen la reducción de fallas futuras.

4.2 Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y del desarrollo realizado a lo largo del proyecto, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda extender este sistema automatizado a otros equipos que operen en condiciones similares fuera del área de laminados, debido al clima tropical propio de la ubicación de la planta que genera daños en los motores, específicamente en el devanado del estator y bobinado, como se ha evidenciado en repetidas ocasiones.
- Se sugiere establecer programas de mantenimientos preventivo más completos basados en los nuevos datos proporcionados por el SCADA, lo cual permite priorizar la eliminación de posibles fallos críticos en el sistema al momento de producción, contribuyendo a mejorar notablemente la confiabilidad de las tomas de decisiones preventivas.
- Se aconseja capacitar al personal operativo para sacar el máximo provecho al sistema de alarma, con el fin de garantizar su intervención inmediata frente a avisos en el SCADA, evitando que por fallas menores no atendidas a tiempo se comprometa a futuro la vida útil del sistema.

- Es recomendable considerar la migración futura de dispositivos periféricos a versiones más actualizadas que permitan mayor desarrollo de software, las cuales facilitarían al programador explayarse en la elaboración de un sistema de control más completo.

Capítulo 5

Referencias

AVEVA. (2023). *Datasheet: AVEVA InTouch HMI* [PDF]. AVEVA.

https://www.aveva.com/content/dam/aveva/documents/datasheets/Datasheet_AVEVA_InTouchHMI_23-12.pdf

Bolton, W. (2017). *Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* (6.^a ed.). Alfaomega Grupo Editor.

Climate-Data.org. (s.f.). *Milagro, Ecuador: Clima, temperatura, precipitación, humedad*.

<https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-del-guayas/milagro-2969/>

EPLAN. (s.f.). *EPLAN Electric P8: Soluciones avanzadas de diseño eléctrico*.

<https://www.eplan.es/soluciones/eplan-electric-p8/>

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata. (2019). *Introducción al motor trifásico de inducción* [Apuntes de cátedra]. Universidad Nacional de Mar del Plata.

https://www3.fimdp.edu.ar/electrica/maquinasyaccionamientos/subir/1.Teoría_apuntes_de_catedra/mae_2019_apunte_catedra6_introducción_motor_trifásico_de_inducción.pdf

García, J. (2019, 23 enero). *Siemens y la nueva versión de Step7 v5.6 / Blog SEAS*. Blog de SEAS. <https://www.seas.es/blog/automatizacion/siemens-y-la-nueva-version-de-step7-v5-6/>

García, M. E., Melia, M., & Brandaleze, E. (2016). Efectos de las variaciones en las condiciones de deformación por laminado en caliente sobre la estructura de alambres de bajo carbono. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 7(1), 11–18.

<https://www.redalyc.org/pdf/3236/323644962002.pdf>

Novatronic EC. (s.f.). *Encoder incremental rotatorio 400 pulsos eje de 6 mm 5/24 VCC*

E38S6G5-400B-G24N. Novatronic EC.

<https://novatronicec.com/index.php/product/encoder-incremental-rotatorio-400-pulsos-eje-de-6-mm-5-24-vcc-e38s6g5-400b-g24n/>

Siemens AG. (2025). *Industry Image Database V4.25.*

<https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx>

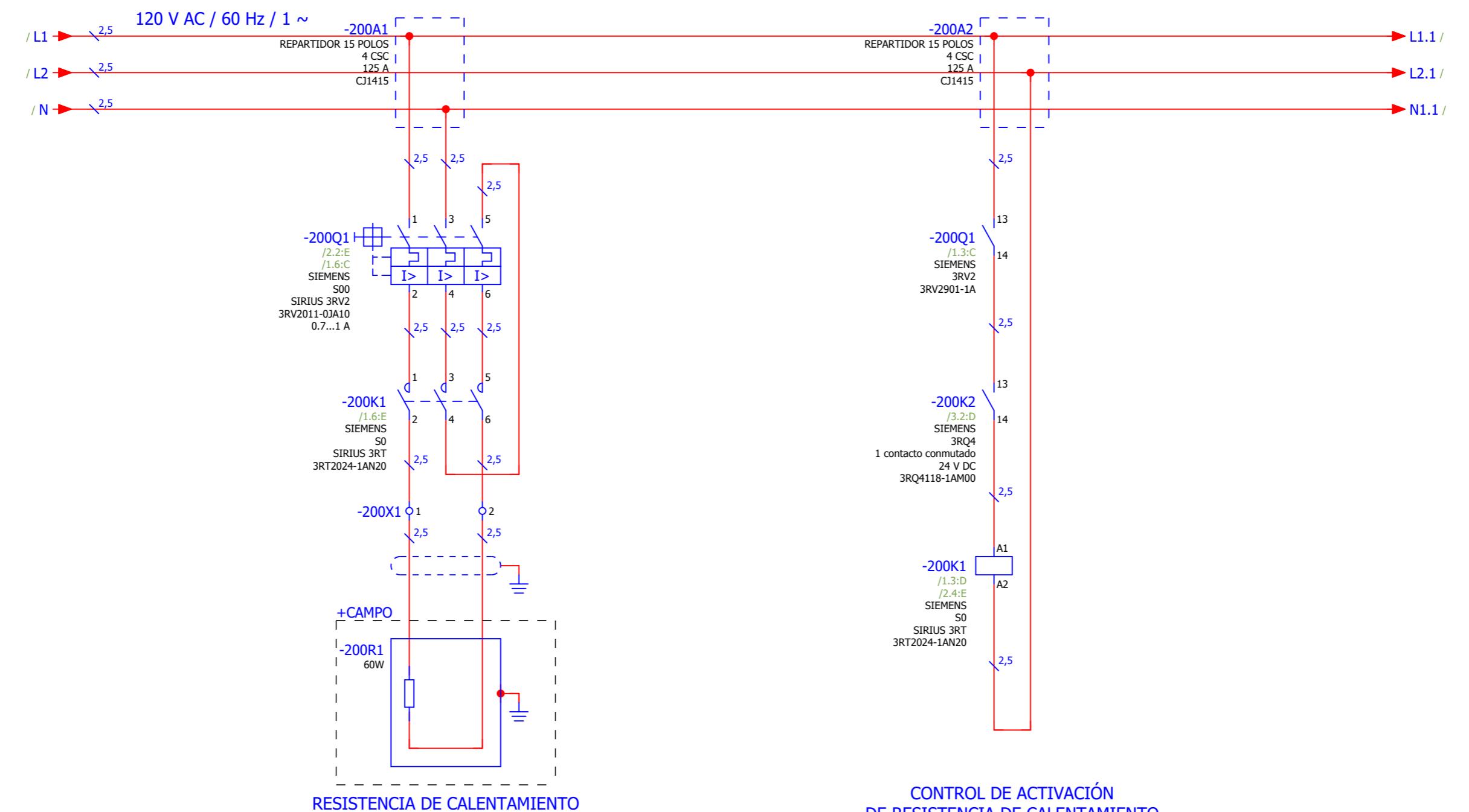
Sihombing, P. M., Usman, Samosir, H. A., & Cahyadi, C. I. (2023). An IoT prototype for temperature monitoring and automatic control of electric motor. *JURTEKSI (Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi)*, 9(4), 559–566.

<https://doi.org/10.33330/jurteksi.v9i4.2255>

Gedzurs, A. (2015, mayo). *Operation improvement of induction motor temperature protection device under extreme overload.* Engineering for Rural Development (Jelgava, 20–22 de mayo 2015). Semantic Scholar.

<https://www.semanticscholar.org/paper/TEMPERATURE-PROTECTION-METHODS-OF-INDUCTION-MOTOR-Gedzurs/6680e90f656ae3572cb7f16c4427b96762df398a>

Apéndice



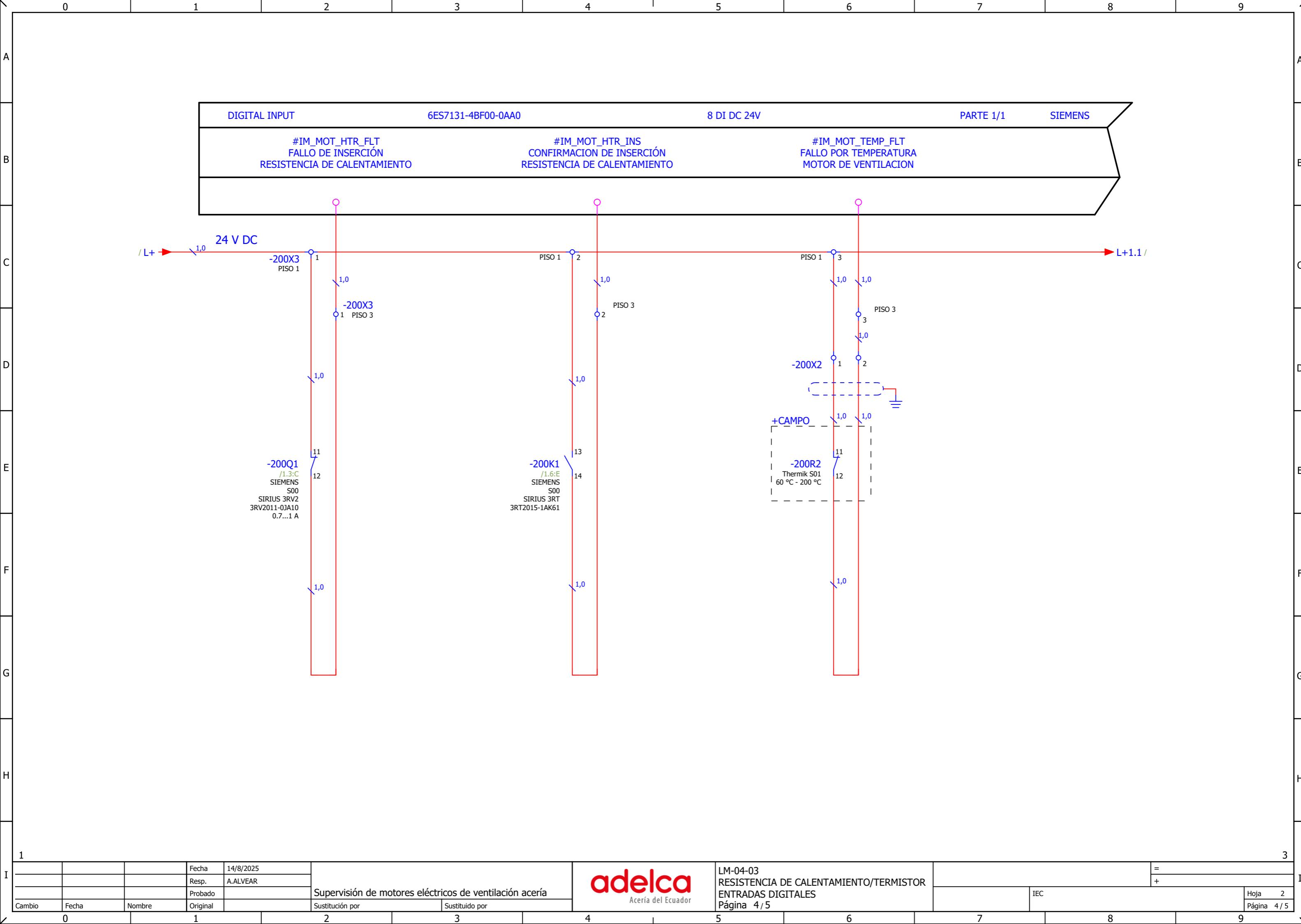
0.a				2				
I			Fecha	14/8/2025	I			
			Resp.	A.ALVEAR	I			
			Probado		I			
Cambio	Fecha	Nombre	Original	Sustitución por	Sustituido por			
0	1	2	3	4	5	6	7	8

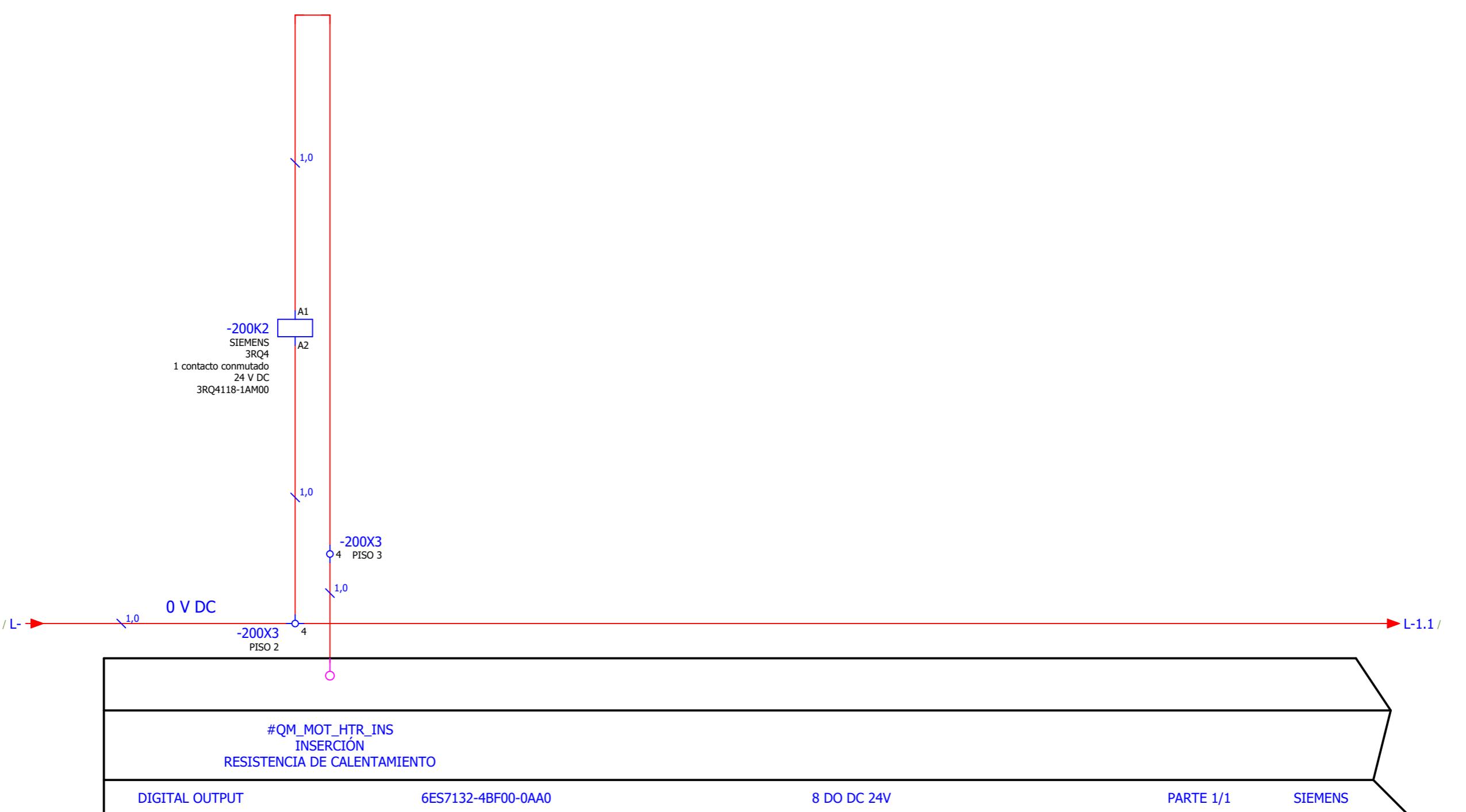
Supervisión de motores eléctricos de ventilación acería

adelca Acería del Ecuador

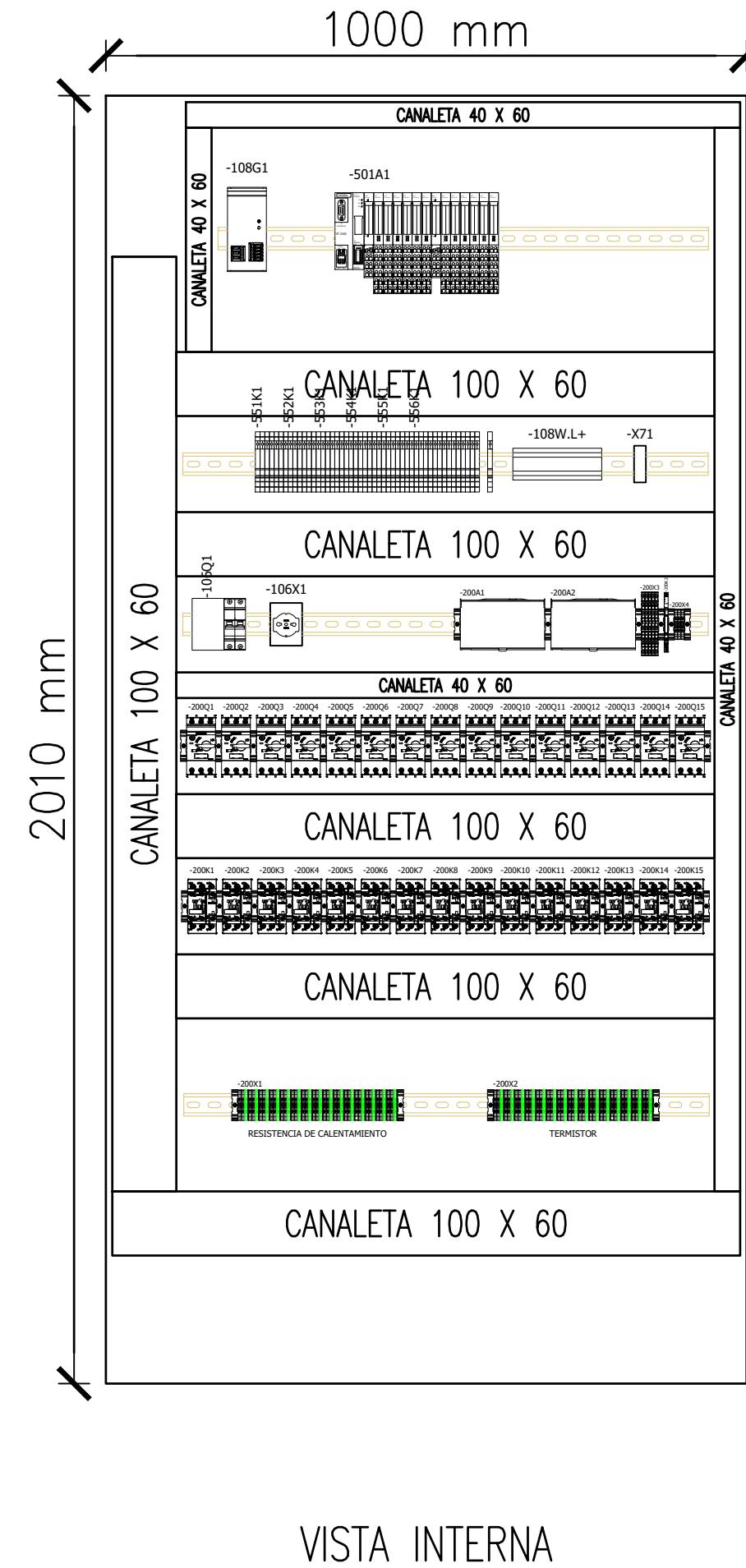
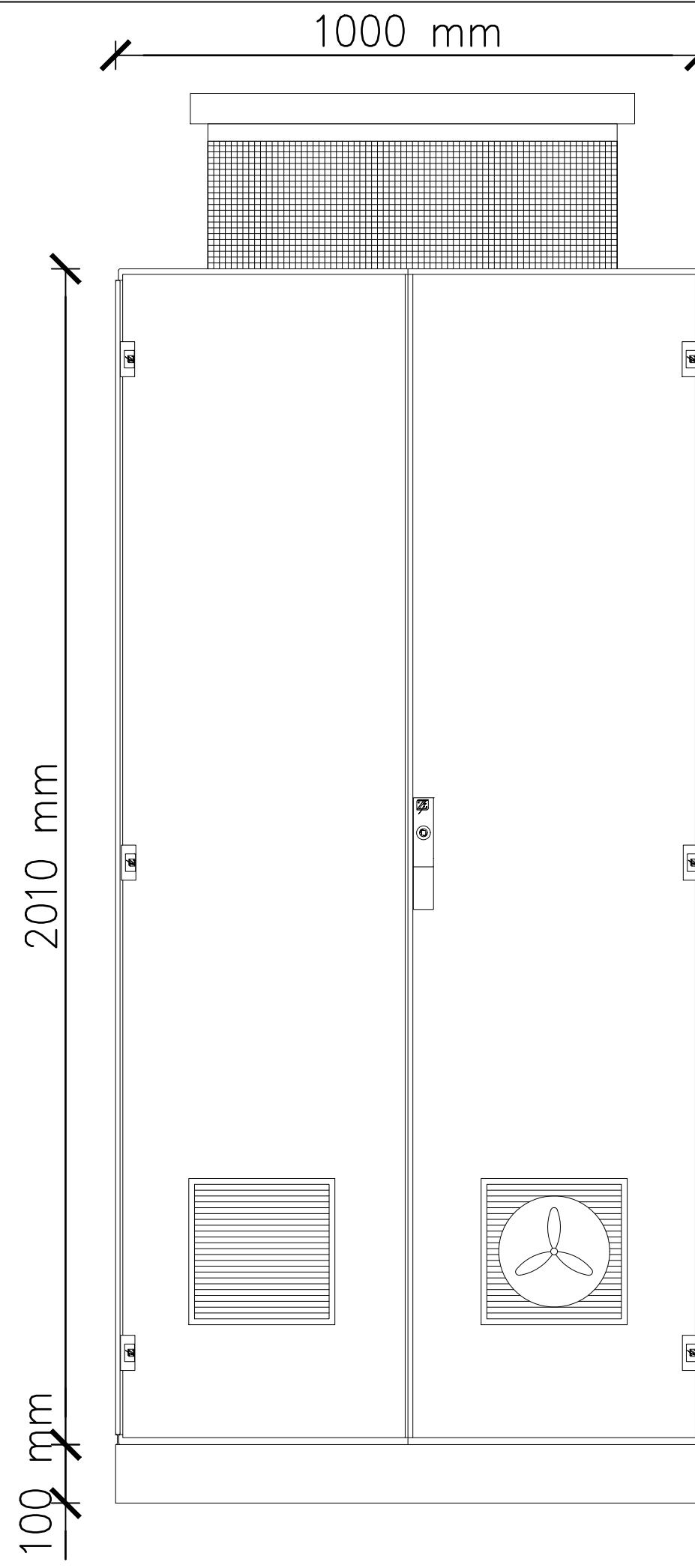
LM-04-03
RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO
FUERZA Y CONTROL
Página 3 / 5

=
+
IEC
Hoja 1
Página 3 / 5





			Fecha	14/8/2025					=
			Resp.	A.ALVEAR					+
			Probado						
					Supervisión de motores eléctricos de ventilación acería				
Cambio	Fecha	Nombre	Original		Sustitución por	Sustituido por			



FC1 - <offline>

"Sensores"

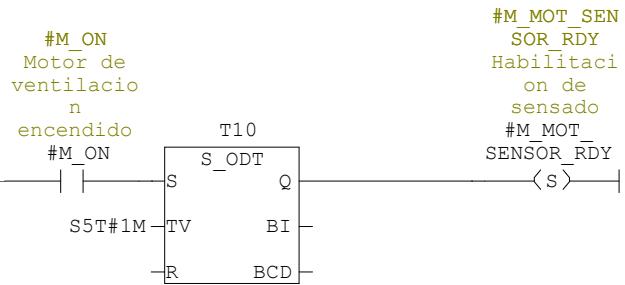
Name: Family:
Author: Version: 0.1
Block version: 2
Time stamp Code: 08/24/2025 05:40:44 AM
Interface: 08/22/2025 12:06:26 PM
Lengths (block/logic/data): 00236 00116 00008

Name	Data Type	Address	Comment
IN		0.0	
M_ON	Bool	0.0	Motor de ventilacion encendido
M_SCADA_ALM_ACK	Bool	0.1	Resetear alarma desde SCADA
M_FAN_RPM	DInt	2.0	RPM ventilador
IM_MOT_TEMP_FLT	Bool	6.0	Fallo por temperatura motor de ventilacion
OUT		0.0	
M_MOT_ERR	Bool	8.0	Señal de error por valores fuera de parametros de operacion
M_MOT_ALM	Bool	8.1	Señal de alarma por valores fuera de parametros de operacion
IN_OUT		0.0	
TEMP		0.0	
M_MOT_SENSOR_RDY	Bool	0.0	Habilitacion de sensado
M_FAN_RPM_MIN	DInt	2.0	Minimo RPM operacion de ventilador
M_FAN_RPM_FLT	Bool	6.0	Fallo por RPM debajo de valor operativo
RETURN		0.0	
RET_VAL		0.0	

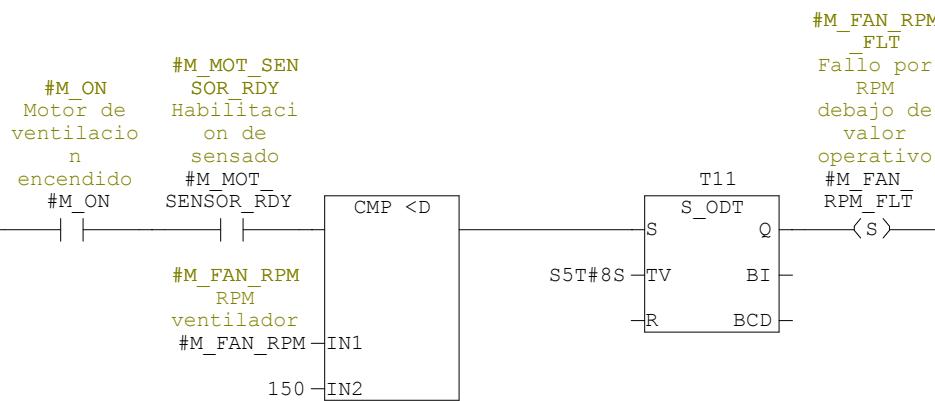
Block: FC1 Sensores

Control de operación del motor y ventilador haciendo uso de un termistor y un encoder respectivamente

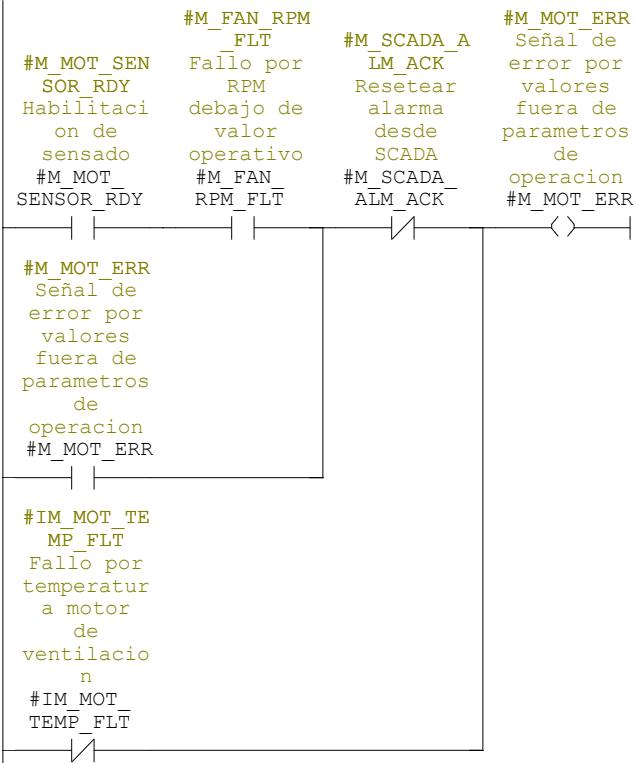
Network: 1 Solicitud de habilitacion de lectura de sensores



Network: 2 Comprobacion de giro de ventilador



Network: 3 Determinacion de error por valores sensados fuera de operacion



SIMATIC 400(1)\CPU 414-2 DP\...\FC1 - <offline>

Network: 4 Alarma por valores sensados fuera de operacion

```
#M_MOT_ERR
    Señal de
    error por
    valores
    fuera de
    parametros
    de
    operacion
#M_MOT_ERR

#M_MOT_ALM
    Señal de
    alarma
    por
    valores
    fuera de
    parametros
    de
    operacion
#M_MOT_ALM
```

Reseteo y habilitacion de sensado

```

graph LR
    A["#M_MOT_ERR"] --- B["#M_ON  
Motor de  
ventilacion  
encendido"]
    A --- C["#M_MOT_SENSOR_RDY"]
    B --- D["#M_MOT_SEN_SOR_RDY"]
    C --- D
    F["#M_FAN_RPM_FLT"] --- E["#M_MOT_SENSOR_RDY"]

```

#M_MOT_ERR
Señal de error por valores fuera de parametros de operacion

#M_MOT_ERR | / \ | #M_MOT_SENSOR_RDY

#M_MOT_SEN_SOR_RDY
Habilitacion de sensado

#M_MOT_SENSOR_RDY
Sensor de RPM

#M_ON
Motor de ventilacion encendido

#M_FAN_RPM_FLT
Fallo por RPM debajo de valor operativo

#M_FAN_RPM_FLT | / \ | #M_MOT_SENSOR_RDY

FC2 - <offline>

"Resistencia Calentadora"

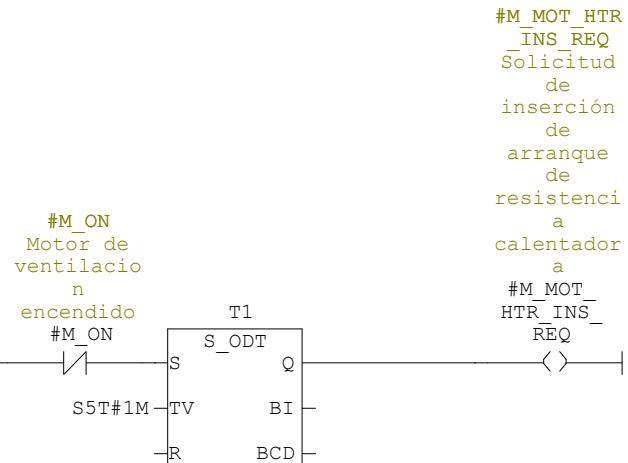
Name: Family:
Author: Version: 0.1
Time stamp Code: Block version: 2
Interface: 08/24/2025 05:53:35 AM
Lengths (block/logic/data): 00222 00102 00002

Name	Data Type	Address	Comment
IN		0.0	
M_ON	Bool	0.0	Motor de ventilacion encendido
IM_MOT_HTR_INS	Bool	0.1	Confirmacion de arranque de resistencia calentadora
M_SCADA_ALM_ACK	Bool	0.2	Resetear alarma desde SCADA
IM_MOT_HTR_FLT	Bool	0.3	Fallo de insercion de resistencia calentadora
OUT		0.0	
QM_MOT_HTR_INS	Bool	2.0	Insercion de arranque de resistencia calentadora
M_MOT_HTR_ALM	Bool	2.1	Alarma por fallo de insercion de arranque de resistencia calentadora
IN_OUT		0.0	
TEMP		0.0	
M_MOT_HTR_INS_REQ	Bool	0.0	Solicitud de insercion de arranque de resistencia calentadora
M_MOT_HTR_INS_ERR	Bool	0.1	TimeOut de confirmacion de arranque de resistencia calentadora
M_MOT_T_INS	Bool	0.2	Comando de confirmacion de arranque de resistencia calentadora
RETURN		0.0	
RET_VAL		0.0	

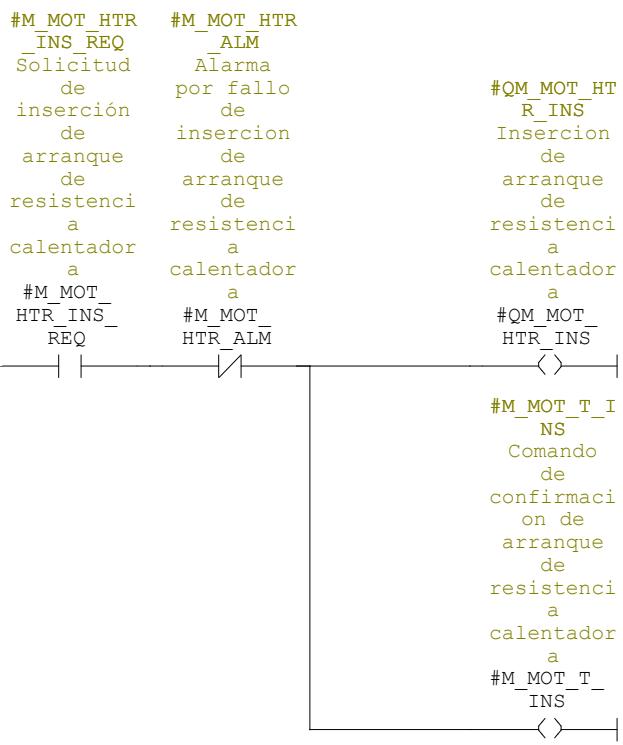
Block: FC2 Resistencia Calentadora

Control de apertura de resistencia calentadora con el objetivo de eliminar la humedad que se puede generar dentro del motor de ventilacion

Network: 1 Requerimiento de activacion de resistencia calentadora

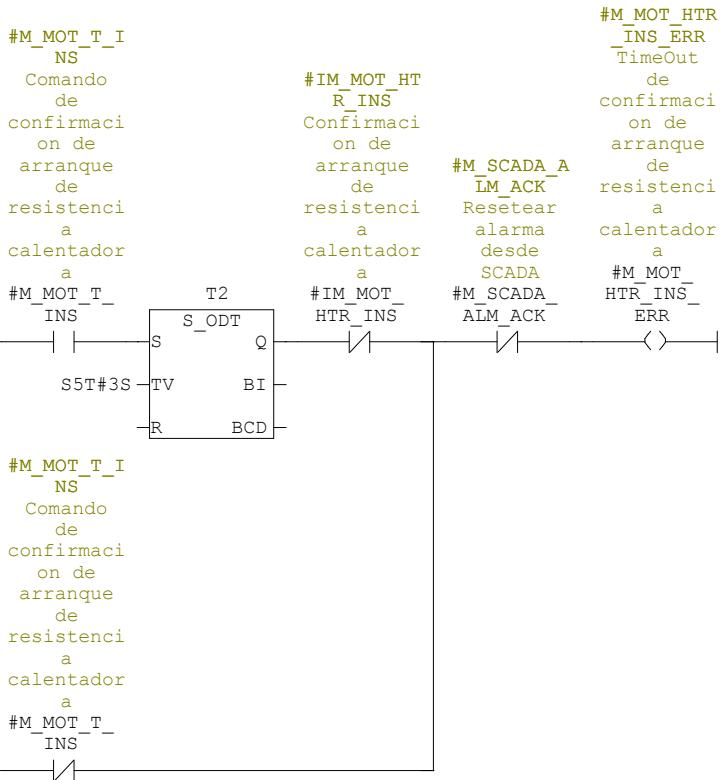


Network: 2 Activacion de resistencia calentadora



#M_MOT_T_I
NS
Comando
de
confirmaci
on de
arranque
de
resistenci
a
calentador
a
#M_MOT_T_INS

Network: 3 Confirmacion de error de activacion de resistencia calentadora



Network: 4 Alarma por error de activacion de resistencia calentadora

#M_MOT_HTR
INS_REQ
Solicitud
de
inserción
de
arranque
de
resistencia
a
calentador
a
#M_MOT_HTR
HTR_INS_REQ

#IM_MOT_HTR
R_FLT
Fallo de
insercion
de
resistenci
a
calentador
a
#IM_MOT_HTR_FLT

#M_MOT_HTR
ALM
Alarma
por fallo
de
insercion
de
arranque
de
resistenci
a
calentador
a
#M_MOT_HTR_ALM

<>

#M_MOT_HTR
INS_ERR
TimeOut
de
confirmaci
on de
arranque
de
resistenci
a
calentador
a
#M_MOT_HTR_INS_ERR

FC3 - <offline>

"Ley de afinidad"

Name: Family:
Author: Version: 0.1
Block version: 2
Time stamp Code: 08/01/2025 03:26:15 AM
Interface: 06/30/2025 02:57:17 AM
Lengths (block/logic/data): 00182 00078 00008

Name	Data Type	Address	Comment
IN		0.0	
M_FAN_RPM	DIInt	0.0	Velocidad actual N2 (RPM)
OUT		0.0	
C_Act_Q2	Real	4.0	Caudal actual Q2 (m3/h)
IN_OUT		0.0	
TEMP		0.0	
Rel_N2N1	Real	0.0	Relación de velocidades N1/N2
M_FAN_RPM_REAL	Real	4.0	Velocidad actual N2 REAL (RPM)
RETURN		0.0	
RET_VAL		0.0	

Block: FC3 Ley de afinidad

Calculo de caudal usando la ley de afinidad

Network: 1 Cálculo de caudal actual

