



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO
AUTOMATIZACIÓN DE UNA CERRADORA ANGELUS 60L
MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL BASADO EN PLC SIEMENS S7-1200

AUTOR
Delgado Mero, Pablo Román

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TUTOR
Gómez Morales, Óscar Wladimir

Santa Elena, Ecuador

Año 2026



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**ALICIA GERMANIA
ANDRADE VERA**

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**OSCAR WLADIMIR
GOMEZ MORALES**

**Ing. Oscar Gómez Morales, Ph.D.
TUTOR**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**LUIS ENRIQUE
CHUQUIMARCA JIMENEZ**

**Ing. Luis Chuquimarca Jimenez, Ph.D.
DOCENTE
ESPECIALISTA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**JUNIOR RAFAEL
FIGUEROA OLMEDO**

**Ing. Junior Figueroa Olmedo, Mgtr.
DOCENTE
ESPECIALISTA**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**MARIA MARGARITA
RIVERA GONZALEZ**

**Abg. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIO GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por **DELGADO MERO PABLO ROMÁN**, como requerimiento para la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización.

TUTOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**OSCAR WLADIMIR
GOMEZ MORALES**

Ing. Oscar Wladimir Gómez Morales, Ph.D.

Santa Elena, 27 de agosto de 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, DELGADO MERO PABLO ROMÁN

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, “Automatización de una cerradora Angelus 60L mediante la implementación de un sistema de control basado en PLC Siemens S7-1200” previo a la obtención del título en Magister en Electrónica y Automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente, este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 27 de agosto de 2026

EL AUTOR



Validar únicamente en FirmaBC.
Firmado electrónicamente por:
**PABLO ROMAN DELGADO
MERO**

Delgado Mero Pablo Román



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado **“Automatización de una cerradora Angelus 60L mediante la implementación de un sistema de control basado en PLC Siemens S7-1200”**, presentado por el estudiante, **DELGADO MERO PABLO ROMÁN** fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 5%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | UPSE-ECU

DELGADO PABLO_TESIS

ID : 4e3907b5ab24a8c7a922e4fb59b581dd400e079a



5%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : DELGADO PABLO_TESIS.txt
Tamaño del archivo original : 3,09 MB
Número de palabras : 21.835

Depositante : Oscar Wladimir Gómez Morales
Fecha de depósito : 30 de julio de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 30 de julio de 2026

TUTOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**OSCAR WLADIMIR
GOMEZ MORALES**

Ing. Oscar Wladimir Gómez Morales, Ph.D.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, DELGADO MERO PABLO ROMÁN

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de artículo profesional de alto nivel con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, 27 de agosto de 2026

EL AUTOR



Validar únicamente en FirmaSC.
Firmado electrónicamente por:
**PABLO ROMAN DELGADO
MERO**

Delgado Mero Pablo Román

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar, a Dios padre todopoderoso por permitir mantenerme con salud y brindarme la fortaleza de cumplir este reto que me enriquece con nuevos conocimientos.

A mis padres, esposa e hijos, quienes han sido mi principal motivación para cumplir con las metas propuestas durante mi carrera profesional.

A la Universidad Península de Santa Elena UPSE, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente en el programa de postgrado en Electrónica y Automatización.

Finalmente, expreso la más sincera gratitud a mi tutor, el Ing. Óscar W. Gómez Morales por orientar este trabajo de titulación con su experiencia y admirable paciencia, lo que fue fundamental para que este proyecto se lograra de manera exitosa.

Pablo Román Delgado Mero

DEDICATORIA

Dedico este logro especialmente a mi hermana Mayra, por su motivación constante y por demostrarme que la fuerza de voluntad y la fe en Dios siempre superan cualquier adversidad.

A mis padres y hermanos, por enseñarme a ser siempre constante y guiarme durante mi vida.

A mi esposa e hijos, por compartir este reto junto a mí y sacrificar su tiempo y fines de semana para que este sueño sea posible. Gracias por ser el motor y motivación para concluir este peldaño en mi carrera profesional.

Pablo Román Delgado Mero

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	IV
DECLARO QUE:.....	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA.....	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	6
Objetivo General:.....	6
Objetivos Específicos:	6
HIPÓTESIS	6
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	7
1.1. Revisión de literatura	7
1.2. Desarrollo teórico-conceptual	8

1.2.1. El atún en la industria.	8
1.2.2. La evolución de la industria conservera.....	9
1.2.3. Estructura del consumo de productos pesqueros según el método de conservación.....	10
1.2.4. Conservación del atún en la industria	11
1.2.5. Cerradora de latas para atún.....	12
1.2.6. Tecnología de sellado de latas y tipos.....	13
1.2.6.1. Técnica de sellado de doble cierre.	15
1.2.6.2. Posibles defectos en el sellado de doble cierre	18
1.2.7. Cerradora Angelus 60 L.....	18
1.2.7.1. Características de la Angelus 60L.....	19
1.2.8. Automatización	20
1.2.9. Sistemas de control	21
1.2.9.1. Clasificación de los sistemas de control	22
1.2.9.1.1. Control lazo abierto.....	22
1.2.9.1.2. Control lazo cerrado.....	23
1.2.10. Controladores lógicos programables (PLC).....	24
1.2.10.1. PLC Siemens SIMATIC S7-1200.....	25
1.2.11. Arquitectura de automatización	26
1.2.12. Protocolos de comunicación industrial	27
1.2.12.1. Comunicación industrial PROFINET	28
1.2.13. Actuadores eléctricos y electroneumáticos empleados en el sistema de automatización de la cerradora Angelus 60L.....	29
Relés auxiliares industriales.....	29
1.2.13.1. Contactores electromagnéticos	30
1.2.13.2. Electroválvulas neumáticas 5/2.....	30
1.2.13.2. Sensores inductivos.....	31

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA32

2.1. Contexto de la investigación.....	32
2.2. Diseño y alcance de la investigación	34
2.2.1. Tipo de investigación.....	35
2.2.1.1. Investigación experimental	35
2.2.1.2. Investigación descriptiva.....	35
2.3 Métodos de investigación.....	36
2.3.1. Método cuantitativo	36
2.3.2. Método cualitativo	36

2.3.3. Método comparativo	36
2.4. Población y muestra.....	37
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
2.5.1. Herramientas de recopilación de datos	37
2.5.1.1. Observación directa en planta	37
2.5.1.2. Entrevistas.....	38
2.5.1.3. Sensores y adquisición de datos.....	38
2.5.2. Software de implementación y monitoreo.	38
2.5.2.1. TIA Portal	38
2.5.2.2. Interfaz HMI	39
2.5.3. Evaluación de calidad del proceso	39
2.5.3.1. Inspección visual y pruebas de sellado	39
2.5.4. Tratamiento de los datos	39
2.5.4.1. Organización de datos.....	39
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
3.1. Integración de hardware y software para la automatización de la cerradora Angelus 60L basada en PLC S7-1200	40
3.1.1. Hardware.....	40
3.1.1.1. PLC Siemens S7-1200	41
3.1.1.2. Variador de frecuencia.....	46
3.1.1.3. Sensores	50
3.1.1.4. Tableros electrónicos	58
3.1.1.5. Interfaz Hombre-Máquina.....	65
3.1.3. Software	67
3.1.3.1. Control de la cerrador Angelus 60L desde TIA Portal.....	67
3.1.3.2. Comunicación y comunicación entre el PLC y HMI	72
3.2. Comunicación del sistema de automatización	76
3.2.1 Entradas y salidas.....	76
3.2.2. Control Analógico.....	77
3.2.3. Comunicación IP.....	78
3.2.4. Programación LADDER.....	79
3.3. Ejecución de pruebas del sistema.....	90
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN.....	94
CONCLUSIONES.....	96

RECOMENDACIONES.....	98
REFERENCIAS.....	99
ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de sellados	14
Tabla 2 Operaciones de doble sellado	16
Tabla 3 Características de la Angelus 60L	20
Tabla 4 Clasificación de protocolos industriales más utilizados.....	28
Tabla 5 Especificaciones técnicas del PLC S7-1200	43
Tabla 6 Especificaciones técnicas del modelo del variador	48
Tabla 7 Modos de control del variador de frecuencia aplicados en la automatización de la cerradora Angelus 60L	49
Tabla 8 Especificaciones técnicas de sensor inductivo IGS290.....	51
Tabla 9 Características operativas del sensor inductivo IFM IGS290 implementado en la cerradora Angelus 60L.	52
Tabla 10 Aplicaciones específicas del sensor	53
Tabla 11 Factor de reducción de materiales en sensores inductivos aplicados a la cerradora Angelus 60L.	56
Tabla 12 Tipos de salida de sensores inductivos utilizados en la automatización	57
Tabla 13 Seguridades implementadas en la cerradora Angelus	58
Tabla 14 Diseño del tablero y sus normas técnicas.	61
Tabla 15 Componentes del tablero eléctrico.....	62
Tabla 16 Grado de protección IP para gabinetes	63
Tabla 17 Material seleccionado del gabinete	63
Tabla 18 Características técnicas de la interfaz HMI SIMATIC KTP700 Basic	66
Tabla 19 Funciones implementadas en el HMI.....	66
Tabla 20 Alarmas del sistema.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución del consumo de productos según método de conservación	11
Figura 2 Procesamiento del atún	12
Figura 3. Sellado de doble costura.	15
Figura 4 Cerradora Angelus 60L	19
Figura 5 Lazo de control abierto	22
Figura 6 Control de lazo cerrado.	23
Figura 7 Principio de funcionamiento del PLC	24
Figura 8 PLC SIMATIC S7-1200	25
Figura 9 Pirámide de automatización	26
Figura 10 Arquitectura de comunicación PROFINET	29
Figura 11 Cerradora Angelus 60L.	33
Figura 12 PLC Siemens SIMATIC S7-1200	42
Figura 13 Niveles de comunicación PROFINET	44
Figura 14 Red de comunicación PROFINET	45
Figura 15 Variador de Frecuencia Siemens SINAMICS V20	47
Figura 16 Sensor inductivo IFM IGS290 en cerradora Angelus	51
Figura 17 Tablero eléctrico de control	59
Figura 18 Variables de entrada y de conexiones del PLC	60
Figura 19 Tablero de control y de operaciones	64
Figura 20 HMI SIMATIC KTP700	65
Figura 21 Interfaz de la plataforma TIA Portal	68
Figura 22. Pantalla principal de operación HMI para la cerradora Angelus 60L.	73
Figura 23 Interfaz de configuración de la cerradora	74

Figura 24 Configuración de velocidad de la cerradora	75
Figura 25 Variables de entrada y salida en el PLC	76
Figura 26 Módulo analógico controlador del variador.	77
Figura 27 Comunicación Ip entre PLC y HMI	78
Figura 28 Arranque del equipo	79
Figura 29 Configuración de señales	79
Figura 30 Seguridad de puertas	80
Figura 31 Detención de latas	80
Figura 32 Paro de emergencia	81
Figura 33 Control variador de frecuencia	82
Figura 34 Control de velocidad	83
Figura 35 Verificación y registro de existencia de latas	84
Figura 36 Entrada de sección de dosificación sin fallas o en modo operativo	84
Figura 37 Fallas en el variador de frecuencia.	85
Figura 38 Microswitch de lata de transmisión	88
Figura 39: Control de desacople y protección de la transmisión mecánica.	89
Figura 40 Interfaz de ejecución y puesta en marcha	91
Figura 41 Ejecución de programación en lenguaje Ladder.	92
Figura 42 Tiempos de ejecución de elementos de la cerradora	92

RESUMEN

Este trabajo aborda la automatización de la cerradora de latas Angelus 60L mediante la implementación de un sistema de control basado en un PLC Siemens S7-1200, sensores inductivos, un variador de frecuencia y una HMI, el objetivo es optimizar la operatividad, reducir defectos de sellado y mejorar la detección de fallas en el proceso de sellado de latas en la industria atunera; se emplea un método de investigación experimental con diseño pre-post, utilizando instrumentos como sensores, software de monitoreo, pruebas de calidad y análisis estadístico para evaluar mejoras en eficiencia, calidad y seguridad; los resultados esperados incluyen reducción de rayaduras, menor tasa de defectos, mayor velocidad de producción y disminución de paradas no planificadas, además de mejorar condiciones de seguridad. Se concluye que la automatización es una solución estratégica que incrementa la productividad, la calidad y la confiabilidad.

Palabras clave: *Automatización - cerradora Angelus 60L – control – PLC – sellado.*

ABSTRACT

The project focuses on automating the Angelus 60L can seamer using a Siemens S7-1200 PLC-based control system, inductive sensors, a frequency inverter, and an HMI. Its objective is to optimize operability, reduce sealing defects, and improve fault detection within the tuna canning process. An experimental research method with a pre-post design is used, employing instruments such as sensors, monitoring software, quality tests, and statistical analysis to evaluate improvements in efficiency, quality, and safety. The expected results include reduced scratching, lower defect rates, increased production speed, fewer unplanned stoppages, and improved safety conditions. The study concludes that automation is a strategic solution that enhances productivity, quality, and process reliability.

Keywords: *Automation - Angelus 60L sealer – control – PLC – sealing.*

INTRODUCCIÓN

La automatización de la industria del atún es resultado de potenciar la calidad de los productos enlatados y consolidar la incorporación de tecnologías de automatización en sistemas de cerrado, lo que se considera un elemento estratégico para ser competitivos y sostenibles en el sector atunero en grandes mercados; el ciclo de sellado hermético de envases metálicos constituye una etapa determinante para garantizar la inocuidad, estabilidad microbiológica y existencia útil del producto final, debido a que cualquier falla en la doble costura puede generar riesgos de contaminación y pérdidas económicas significativas, de este modo la tecnificación de equipos de sellado industrial, como la cerradora Angelus 60L, utilizando sistemas de control basados en PLC de última generación, específicamente el Siemens S7-1200, permite optimizar la precisión del proceso, reducir operaciones repetidas mecánicas, asegurando la revisión oportuna de variables críticas como presión, sincronización y velocidad de sellado.

La eficiencia operativa que deriva de la digitalización y automatización en este tipo de empresas muestran eficiencia operativa lo que fortalece la trazabilidad de los procesos contribuyendo al cumplimiento de normativas internacionales de inocuidad, tales como ISO 22000 y HACCP, aspectos esenciales en entornos productivos altamente regulados.

En el sector atunero, el sellado de los envases de productos en conserva se torna importante ya que se permite que los mismos se encuentren en óptimas condiciones de consumo, cumpliendo con exigentes criterios de calidad e inocuidad, un cierre adecuado no solo protege el contenido frente a agentes que se encuentran en el ambiente, sino que además permite prolongar su vida útil sin comprometer la salud de quienes lo consumen; es importante tomar en cuenta que la excelencia del producto final no depende únicamente del proceso de enlatado, sino que inicia desde los insumos básicos, en este aspecto, el estado del pescado

fresco influye directamente en las propiedades del producto final; si la materia prima presenta deficiencias, difícilmente el producto enlatado alcanzará estándares elevados de calidad.

La cerradora de latas Angelus 60L en este estudio, se presenta como un equipo importante en el entorno de productividad en la industria de conservas, ya que su función en el sellado hermético mediante doble costura, es esencial para preservar la calidad e inocuidad del producto enlatado; sin embargo, en muchas instalaciones industriales equipos como este continúa operando con esquemas de control tradicional, limitando la precisión del proceso, disminuye el monitoreo en tiempo real y genera riesgos tanto en la calidad del producto como en la seguridad del personal; frente a estas limitaciones, en la trascendencia de la automatización industrial se plantea la necesidad de modernizar estos sistemas, incorporando tecnologías que permitan un mayor control, eficiencia y confiabilidad operativa, en este sentido, el presente trabajo se orienta hacia la actualización del sistema de control de la cerradora con la implementación de una arquitectura basada en un controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-1200, complementado con un variador de frecuencia, sensores de detección y una interfaz hombre-máquina HMI, lo que busca no solo optimizar el desempeño del equipo, sino también alinearlos con las tendencias actuales de digitalización industrial, contribuyendo a mejorar la productividad, la trazabilidad del proceso y las condiciones de operación en entornos industriales exigentes.

La eficiencia y confiabilidad de los procesos de sellado constituyen factores determinantes que garantizan la calidad del producto final y la sostenibilidad operativa de las líneas de producción; la cerradora Angelus 60L, ampliamente utilizada en el sector atunero, es un equipo que asegura la hermeticidad del envase; no obstante, en su configuración original basada en un sistema eléctrico convencional, se evidencian limitaciones técnicas que afectan tanto al trabajo del equipo como la calidad del producto; limitaciones como la operación a

rapidez fija del motor, la ausencia de instrumentación para la localización de sucesos críticos y la ausencia de tecnologías de supervisión en tiempo real, aumentan la probabilidad de defectos en el sellado, paradas no planificadas y riesgos operativos.

Bajo este escenario, el objetivo principal es automatizar la cerradora Angelus 60L con la implementación de un sistema de control apoyado en un PLC Siemens S7-1200, integrando equipos de campo y herramientas de monitoreo que permitan mejorar la labor del equipo; considerando como alcance el diseño, desarrollo e implementación de un diseño de control que integre un variador de frecuencia que regule dinámicamente de la velocidad del motor, sensores industriales para la detección de condiciones operativas críticas y una interfaz HMI orientada al monitoreo y control del proceso automáticos, con la posibilidad de fusionarla a futuro con sistemas SCADA, potenciando las capacidades del sistema en digitalización y supervisión centralizada.

La modernización del sistema de control de la cerradora permitirá mejorar significativamente la operatividad del equipo, reducir defectos en el sellado y robustecer la localización temprana de fallas, aquí se aborda el problema desde una perspectiva de automatización industrial, aplicando tecnologías de control programable, instrumentación y supervisión que permitan estandarizar los parámetros de operación, disminuir la intervención manual y elevar niveles de calidad en el proceso aplicando un método orientado al análisis del sistema actual, identificando puntos críticos, la arquitectura de una solución tecnológica y la validación de pruebas operativas.

La importancia de este trabajo tiene como sustento diversos enfoques que van desde lo industrial, mejorando la productividad, reducir desperdicios y optimizar recursos que maximicen la competitividad de la empresa; desde lo social, la integración de sistemas

automatizados favorecen la seguridad del personal disminuyendo la exposición a tareas continuas, riesgosas y la perspectiva científica y tecnológica, aportando evidencia en la aplicación de respuestas de automatización en maquinaria industrial, promoviendo una transición hacia entornos de producción inteligente y eficiente.

Planteamiento de la investigación (Fundamentación de la investigación)

Actualmente en el campo industrial de conservas, principalmente la del sector atunero, se caracteriza por una creciente exigencia en términos de control de procesos, eficiencia y calidad; sin embargo se identifican brechas importantes en la operación de equipos industriales que aún funcionan bajo esquemas tradicionales, estas limitaciones se evidencian especialmente en procesos críticos como el sellado de envases metálicos, donde la precisión y la continuidad operativa son factores determinantes, un escenario que demuestra la falta de complementación de tecnologías de automatización; tales como; la falta de monitoreo oportuno lo que restringe la detección oportuna de fallas y entorpece la aplicación de estrategias de mantenimiento eficientes.

Específicamente la cerradora Angelus 60L, posee una configuración inicial basada en un sistema eléctrico convencional que presenta diversas deficiencias afectando su desempeño y la ausencia de un sistema de control de velocidad, como un variador de frecuencia, impide adaptar el funcionamiento del motor a las características del envase, lo que genera problemas continuos en la calidad del sellado; esta condición se traduce en daños físicos en las latas, tales como rayaduras o deformaciones, particularmente en materiales más sensibles, a ello se suma la escasez de dispositivos sensores que permitan identificar condiciones anómalas dentro del proceso, como desalineaciones, fallas en la alimentación o atascamientos mecánicos; además

la falta de un interfaz de monitoreo también reduce la visualización del estado del sistema, lo que entorpece la eficaz toma de decisiones contribuyendo a continuidad en paradas imprevistas.

La investigación se orienta a modernizar un sistema de control para la cerradora incorporando tecnologías de automatización industrial de supervisión y control que faciliten la integración de sistemas futuros de supervisión tipo SCADA, ampliando las capacidades de administración y análisis del proceso; esto se sustenta en la necesidad de mejorar la calidad operativa y del producto, restando la incidencia de fallas asociadas al sistema actual. La automatización impondrá lógicas de control específicas, como la condición de operación “sin lata / sin tapa”, contribuirá a evitar desperdicios innecesarios; así mismo, la toma de información en oportuna posibilitará la adopción de estrategias de mantenimiento predictivo, incrementando la disponibilidad del equipo y reduciendo los tiempos de inactividad, asegurando aspectos como seguridad y sostenibilidad con reducción de la exposición del equipo humano en tareas reiterativas y riesgosas en entornos laborales.

Formulación del problema de investigación

¿Cómo puede la automatización de una cerradora Angelus 60L mejorar la calidad del sellado, reducir defectos en las latas y optimizar la detección oportuna de fallas operativas, incrementando la calidad y la continuidad del proceso productivo en la industria atunera mediante la implementación de un sistema de control basado en un PLC Siemens S7-1200?

OBJETIVOS

Objetivo General:

Automatizar la cerradora de latas Angelus 60L con la finalidad de mejorar su operación y eficiencia, implementando tecnologías de control industrial basadas en PLC y HMI.

Objetivos Específicos:

1. Analizar y determinar las variables de control necesarias para optimizar el funcionamiento de la cerradora de latas.
2. Integrar el sistema de control automatizado basado en PLC y HMI para la cerradora Ángelus 60L, que permita la adquisición de datos, facilitando el análisis operativo y la toma de decisiones.
3. Validar el desempeño del sistema eléctrico de control mediante pruebas funcionales, para verificar la correlación entre la lógica del PLC y los estándares de hermeticidad en el sellado de las latas.

HIPÓTESIS

La automatización de la cerradora Angelus 60L mediante la implementación de un sistema de control basado en un PLC Siemens S7-1200 constituye una solución tecnológica eficaz para optimizar la operatividad del equipo mejorando la calidad del sellado al reducir defectos en las latas, incrementar la capacidad de detección temprana de fallas operativas y estandarizar los requisitos del proceso, lo que maximiza la eficiencia, confiabilidad y recurrencia de la producción en la industria atunera.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1.Revisión de literatura

Con el paso del tiempo, la automatización industrial aplicada a la industria alimentaria ha experimentado un crecimiento significativo, impulsado por la necesidad de mejorar la eficiencia, garantizar la calidad del producto y cumplir con normativas internacionales de inocuidad, en este sentido Song, y otros, (2025) manifiestan que diversos estudios coinciden en que los sistemas automatizados basados en controladores lógicos programables PLC, sensores industriales y plataformas de supervisión permiten optimizar los procesos productivos, reducir errores humanos y asegurar condiciones estables de operación en entornos altamente exigentes.

Tecnológicamente, la automatización en el procesamiento de alimentos se ha consolidado como un elemento clave en la transición hacia modelos de producción inteligentes, integrando tecnologías como IoT, analítica de datos y control en tiempo real, herramientas que permiten monitorear variables críticas del proceso, anticipar fallas y mejorar la trazabilidad, lo cual resulta fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y minimizar desperdicios (Singh et al., 2025) .

En el ámbito específico del control industrial, los controles lógicos programables han demostrado ser una solución robusta y confiable para la automatización de procesos en líneas de producción alimentaria, su capacidad para administrar secuencias lógicas, integrar múltiples dispositivos de campo y operar en tiempo real permite alcanzar altos niveles de precisión y repetibilidad en operaciones críticas; también, la integración de interfaces hombre máquina HMI facilitan el control y monitoreo del sistema, generando información clave para la toma de decisiones operativas (Abbas et al., 2025). Estudios realizados recientemente resaltan que la

automatización no solo mejora la eficiencia productiva, sino que también reduce costos operativos, optimiza el uso de recursos y fortalece la seguridad en el entorno industrial; en particular, la implementación de sistemas automatizados en procesos de manufactura alimentaria permite disminuir la variabilidad del proceso, reducir defectos en el producto final y mejorar la confiabilidad del sistema en comparación con métodos tradicionales o semiautomatizados; el Global Industry Analysts, (2024) con valores recientes demuestra que el crecimiento del mercado global de automatización en la industria alimentaria expone la importancia estratégica de estas tecnologías, proyectando un incremento sostenido en la adopción de soluciones basadas en PLC, sistemas SCADA y variadores de frecuencia, debido a su impacto directo en la productividad, calidad y sostenibilidad de los procesos industriales; de esta forma la tecnificación de equipos específicos que pertenecen a líneas de producción como las cerradoras industriales adquiere relevancia puesto que el sellado se estructura como una operación crítica que influye directamente en la calidad e inocuidad del producto final integrando control, sensores y monitoreo en tiempo real, lo que mejora la precisión del proceso reduciendo defectos con garantías en la hermeticidad de los envases.

En general, la revisión literaria afirma que los sistemas basados en PLC con una arquitectura formada por sensores y plataformas de control ofrecen una solución efectiva que mejora el desempeño de procesos industriales en el sector alimenticio, sustentando el sentido de la pertinencia orientado a la automatización de la cerradora Angelus 60L.

1.2. Desarrollo teórico-conceptual

1.2.1. El atún en la industria.

El atún es uno de los productos más representativos de la industria alimentaria a nivel global, especialmente en el ámbito de las conservas, donde su procesamiento implica una

cadena de operaciones altamente controladas que garantizan la calidad, la inocuidad y la estabilidad del producto final; López, (2021) menciona que en Ecuador, esta industria tiene una relevancia estratégica, ya que forma parte de los principales rubros de exportación no petrolera, lo que exige la adopción de estándares técnicos rigurosos y el uso de tecnologías que aseguren la eficiencia productiva y la competitividad internacional.

Técnicamente, el procesamiento del atún en conserva no se limita simplemente al enlatado, sino que comprende etapas críticas que van desde la recepción de la materia prima, clasificación, cocción, llenado y sellado, donde cada fase influye directamente en el rendimiento del proceso y en la calidad del producto final; en este sentido, se reconoce que la eficiencia global de la planta depende en gran medida de la estabilidad operativa de los equipos involucrados, especialmente aquellos asociados al envasado y sellado, los cuales deben operar bajo condiciones controladas para evitar defectos y pérdidas productivas (Gaitech, 2026); Muñoz, (2022) expresa que en el escenario expuesto el mantenimiento industrial adquiere un rol importante dentro del sector conservero, ya que muchas empresas atuneras, sobretudo en latinoamérica aún no poseen estrategias de mantenimiento preventivo incrementando la probabilidad de fallas en los equipos como paradas inesperadas lo que afecta la calidad del producto final, así metodologías inexistentes de mantenimiento incide directamente en los costos operativos y el confiabilidad el proceso productivo; la gestión oportuna de mantenimiento no solo aumenta la disponibilidad operativa, sino que también apoya la sostenibilidad industrial al minimizar desperdicios y mejorar la eficiencia energética (Delgado y otros, 2023).

1.2.2. La evolución de la industria conservera

La industria conservera ha experimentado cambios significativos en los últimos años, evolucionando de sistemas de producción manuales a entornos altamente automatizados y digitalizados; este cambio ha sido impulsado por la necesidad de responder a mercados cada

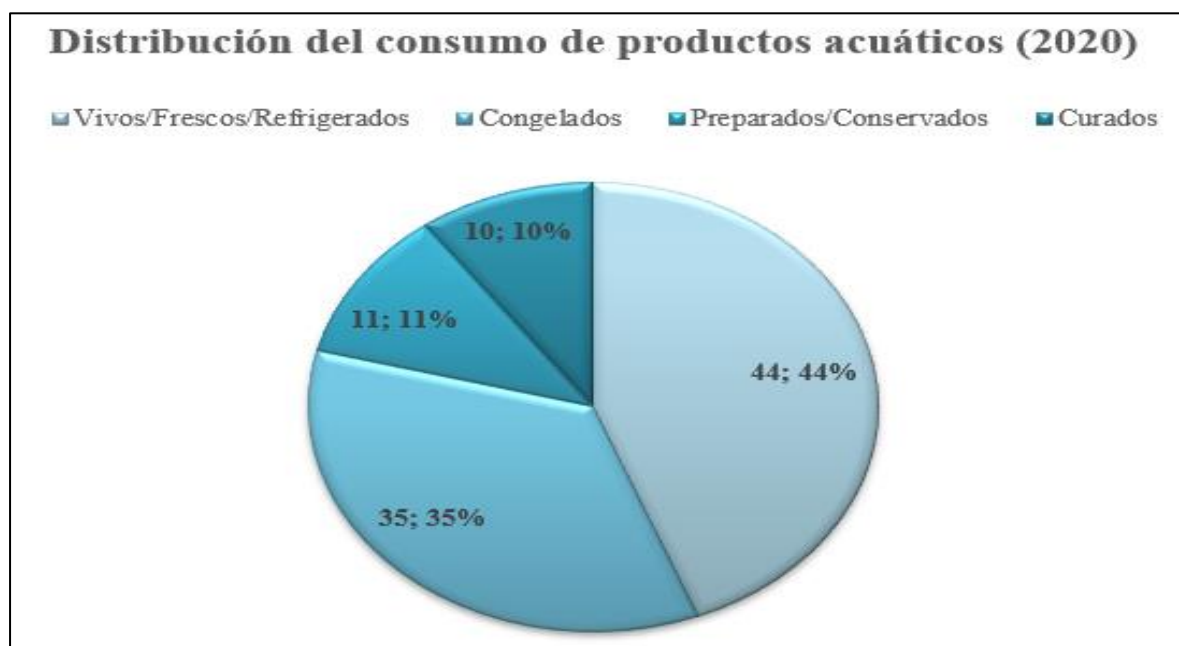
vez más exigentes en términos de calidad, trazabilidad y seguridad alimentaria, así como por la presión de optimizar costos y mejorar la eficiencia operativa. En la actualidad, la incorporación de tecnologías propias de la Industria 4.0 ha permitido redefinir los procesos productivos, integrando sistemas inteligentes capaces de monitorear, controlar y optimizar las operaciones en tiempo real (Damián G. y otros, 2025); por esta razón, Dordal, (2025) manifiesta que la automatización se ha consolidado como un elemento estratégico que permite incrementar la productividad, reducir errores humanos y garantizar la uniformidad del producto final; además, facilita el cumplimiento de normativas sanitarias cada vez más estrictas, al permitir un control continuo y documentado de las condiciones de operación; esta necesidad lleva a mantener estándares de calidad elevados, incrementar la capacidad productiva y asegurar la inocuidad de los alimentos impulsando la adopción de tecnologías avanzadas de control industrial como los controladores lógicos programables (PLC) y los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), los cuales permiten una gestión eficiente, centralizada y en tiempo real de los procesos productivos maximizando mejoras en el desempeño industrial (Parrales , 2025).

1.2.3. Estructura del consumo de productos pesqueros según el método de conservación

La FAO, (2025) indica que el consumo de alimentos conservados a nivel mundial se posiciona como un segmento estratégico dentro del sistema alimentario global, especialmente en el ambiente de productos procesados de larga duración; aunque los alimentos frescos y mínimamente procesados continúan dominando la ingesta calórica global con los cereales aportando aproximadamente el 42% de la energía alimentaria mundial, los productos en conserva han incrementado su participación debido a su accesibilidad, durabilidad y facilidad de distribución, en la **Figura 1** se representa la distribución del consumo de productos según el método de conservación

Figura 1

Distribución del consumo de productos según método de conservación



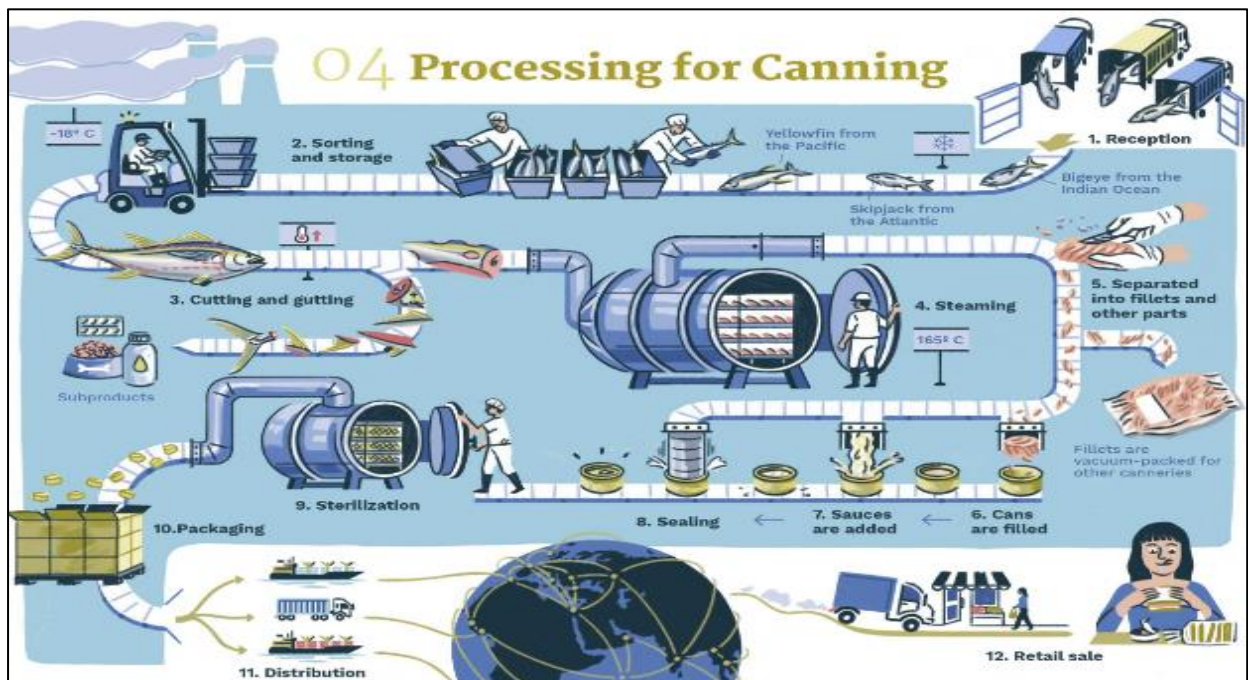
Nota: Los alimentos acuáticos vivos, frescos o refrigerados representan el 45%, seguidos por los congelados (31%), los preparados y conservados (10%) y los curados (10%). Adaptado de (FAO, 2023).

1.2.4. Conservación del atún en la industria

En la industria, la conservación del atún se basa en una combinación de métodos físicos y térmicos que garantizan la inocuidad, la estabilidad microbiológica y la prolongación de la vida útil del producto, el proceso inicia generalmente con la conservación en frío mediante congelación a temperaturas inferiores a -18°C , lo que permite preservar la materia prima desde su captura hasta su procesamiento industrial, luego la etapa de transformación radica en que el atún es sometido a etapas de cocción (principalmente al vapor), enlatado y sellado hermético, seguido de un tratamiento térmico de esterilización en autoclave, el cual elimina microorganismos y asegura la estabilidad del producto sin necesidad de refrigeración (Gaitech, 2024); proceso que se muestra en la **Figura 2**.

Figura 2

Procesamiento del atún



Nota: Tratamiento del atún desde el procesamiento hasta su conservación. (Planet tuna, 2022).

1.2.5. Cerradora de latas para atún

Las cerradoras de latas constituyen uno de los equipos más críticos en la línea de producción de la industria de conservas de atún, particularmente en el procesamiento de atún, donde el sellado hermético es determinante para garantizar la inocuidad, la estabilidad microbiológica y la vida útil del producto final; estas máquinas están diseñadas para realizar el denominado doble cierre, proceso mediante el cual la tapa se une al cuerpo de la lata a través de una deformación controlada del material metálico utilizando rodillos (rulinas) y un mandril, generando una costura hermética que evita la entrada de agentes contaminantes (Jiménez & García, 2022). Las cerradoras industriales dependiendo del diseño mecánico y los requerimientos de producción, trabajan bajo diferentes configuraciones, tales como sistemas de lata giratoria o lata fija, en cualquier caso el proceso de sellado se desarrolla en etapas

secuenciales que incluyen la colocación de la tapa, el conformado inicial de la costura y su posterior compactación, garantizando la integridad estructural del envase; Fanser, (2022) y Tello & Herrera Miguel, (2021) afirman que la precisión de este proceso es fundamental, ya que defectos en el cierre como costuras incompletas o desalineaciones pueden generar filtraciones y comprometer la calidad del producto, afectando tanto la seguridad alimentaria como la competitividad industrial.

Actualmente, las cerradoras de atún han alcanzado sistemas altamente automatizados capaces de operar a velocidades superiores a miles de latas por hora, integrando múltiples rodillos de cierre, sensores de control y sistemas de regulación que aseguran la consistencia del sellado y reducen las pérdidas por defectos, por lo tanto, esto responde a un incremento productivo y estándares exigentes, lo que infiere en el uso de sistemas de control como el PLC Siemens S7-1200 (Ferrum, 2024).

1.2.6. Tecnología de sellado de latas y tipos

Habib et al. (2025), en su artículo científico, señalan que el sellado de latas es una etapa crítica en la industria conservera que garantiza la hermeticidad del envase y asegura la conservación del alimento frente a agentes externos, lo que permite mantener la inocuidad y la estabilidad microbiológica del producto durante su vida útil; un proceso relevante en productos de origen pesquero, como el atún, donde el envasado hermético, combinado con tratamientos térmicos, permite alcanzar condiciones de esterilidad comercial; en este escenario, la integridad del sellado se convierte en un factor determinante para la calidad final del producto y la seguridad alimentaria.

Tabla 1

Tipos de sellados

Tipos de sellado	Características
Doble cierre (double seam)	Unión mecánica del cuerpo de la lata con la tapa mediante un proceso de deformación controlada que genera una estructura de múltiples capas metálicas, lo que garantiza alta resistencia mecánica y hermeticidad, ideal para procesos que involucran esterilización térmica.
Por soldadura	Suele utilizarse en las primeras etapas del desarrollo del enlatado; posee limitaciones con respecto a la seguridad de los alimentos.
Adhesivo	Se utiliza en envases no metálicos o combinados; su uso es limitado debido a restricciones de resistencia y durabilidad.
Por inducción electromagnética	Se utiliza en envases de plástico o de vidrio: genera un campo electromagnético que calienta localmente y funde el sello interno. Este tipo de sellado permite realizar cierres herméticos sin contacto directo.

Nota: tipos de sellos aplicados según el tipo de envase y el material utilizado. (Habib et al., 2025).

En la **Tabla 1** se presentan los tipos de sellos y sus características resaltando que en estudios recientes como en el de (Holguín et al., 2025) en donde señalan que la calidad del sellado, especialmente en la técnica de doble cierre, depende de variables críticas como la presión de los rodillos, la alineación del sistema, el espesor de la costura y la precisión en la

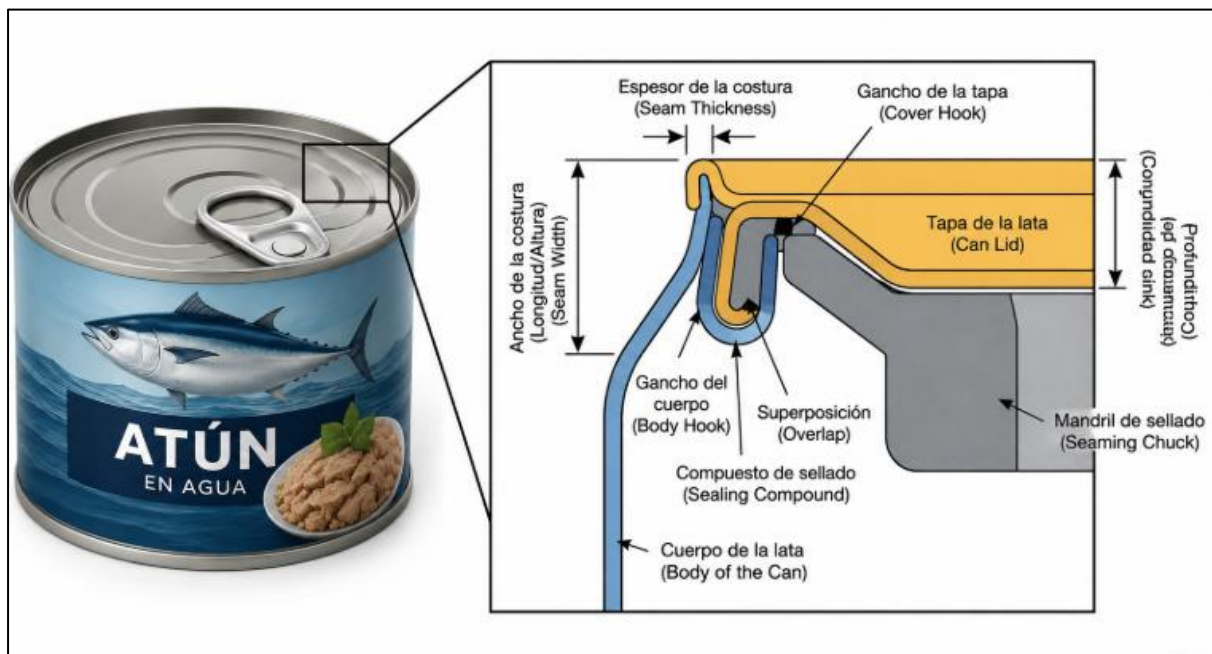
sincronización mecánica; variaciones en estas características puede generar defectos como costuras falsas, fugas o deformaciones, comprometiendo la integridad del producto.

1.2.6.1. Técnica de sellado de doble cierre.

Tal como se indica en la sección anterior a lo largo del desarrollo de la industria alimenticia como la del atún, los métodos de sellado también han experimentado una evolución significativa que van desde soldadura metálica hasta el sellado mecánico de doble cierre consolidándose este último como el estándar predominante en el sector alimenticio, lo que garantiza una unión hermética sin efectos térmicos sobre el producto lo que reduce riesgos de contaminación; esta técnica se posiciona como una tecnología robusta que beneficia el almacenamiento prolongado (Habib et al., 2025; Hanifah et al., 2024).

Figura 3.

Sellado de doble costura.



Nota: procedimiento mecánico de doble cierre. (Levapack, 2026).

La **Figura 3** representa el proceso de doble sellado y su desarrollo en dos etapas: la deformación progresiva y simultánea de un envase de lata o de aluminio, sin dañar los acabados protectores.

Levapack, (2026), detallan las dos operaciones de sellado, las que se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2

Operaciones de doble sellado

Operación	Descripción del proceso	Elementos que intervienen
Crear el enclavamiento (PRIMERA OPERACIÓN)	La lata con el producto se posiciona correctamente y el mandril sostiene la tapa contra el cuerpo. El rodillo de la primera operación se acerca y comienza a enrollar el borde de la tapa alrededor del cuerpo de la lata mientras esta gira. Se forma un acople inicial entre ambas partes	Mandril, rodillo de primera operación, cuerpo de la lata, tapa.
Compresión final	Durante el giro, el material metálico se adapta al perfil del rodillo, formando ganchos tanto en la tapa como en el cuerpo. Los ganchos quedan entrelazados de manera suelta, lo que permite la preparación para la siguiente fase.	Rodillo de primera operación, tapa, cuerpo

Compactación	El rodillo de segunda operación, con un perfil más plano, ejerce presión sobre la costura formada , reduciendo el espesor de la unión y ajustando las capas metálicas contra el mandril.	Rodillo de segunda operación, mandril, costura formada.
Distribución del compuesto saliente	La presión aplicada permite que el compuesto sellador se distribuya en los espacios internos de la costura, lo que mejora la estanqueidad del sistema.	Compuesto sellante, costura metálica.
Cierre hermético	Se consolida una unión firme entre la tapa y el cuerpo, capaz de soportar procesos térmicos y el almacenamiento a largo plazo.	Toda la estructura del doble cierre.

Nota: etapas del proceso de doble cierre en el sellado de latas. (Levapak, 2026).

Los parámetros críticos que intervienen en el proceso de doble cierre o sellado de las latas según Hanifah et al., (2024); Holguín et al., (2025) Industrial physics, y (2024) son:

- **Gancho del cuerpo (body hook):** es la parte del borde de la lata que se dobla hacia abajo; debe tener una longitud adecuada para unirse correctamente a la tapa, sin causar deformaciones.
- **Gancho de la tapa (cover hook):** es la parte del borde de la tapa que se dobla hacia arriba y se engancha con el gancho del cuerpo, formando la unión principal.
- **Superposición (overlap):** indica cuánto se entrelazan ambos ganchos. Si esta unión es muy pequeña, el cierre puede fallar; si es excesiva, puede dañar la estructura.
- **Grosor de la costura:** corresponde a las capas de metal comprimidas; un grosor inadecuado puede indicar problemas con la presión del sellado.
- **Ancho de la costura:** permite verificar si el cierre es uniforme en toda la lata.

- **Avellanado:** mide qué tan bien se ajusta la tapa al cuerpo de la lata durante el proceso.
- **Compuesto de sellado:** es un material que se coloca en la tapa antes del cierre y, al comprimirse, rellena los pequeños espacios y evita fugas.

1.2.6.2. Posibles defectos en el sellado de doble cierre

- Ganchos cortos, mala alineación, deformación del borde, acople incompleto.
- Superposición insuficiente, estructura débil, geometría irregular.
- Presión insuficiente, cierre flojo, deformaciones por exceso de presión.
- Fugas por mala distribución, expulsión del sellante, baja adherencia.
- Costura falsa, filtraciones, reducción de vida útil

(Levapak, 2026).

1.2.7. Cerradora Angelus 60 L

La cerradora Angelus 60L que se muestra en la **Figura 4** es una de las máquinas más representativas de la industria del enlatado, ampliamente utilizada en líneas de producción de alimentos, especialmente en el sector atunero, por su capacidad de operación continua y su desempeño a altas velocidades, este equipo, desarrollado por la compañía Angelus Sanitary Can Machine Company, ha sido reconocido por su robustez estructural, durabilidad y adaptabilidad a diferentes formatos de envases metálicos, con un valor industrial optimizado, este tipo de cerradora puede alcanzar velocidades superiores a las 600 latas por minuto, lo que la convierte en una solución eficiente para procesos de producción a gran escala. (Mundolatas, 2023).

Figura 4

Cerradora Angelus 60L



Nota: cerradora industrial de latas (Mundolatas, 2023).

1.2.7.1. Características de la Angelus 60L

Esta máquina de cierre automático, reconocida por su eficiencia y facilidad de uso, se destaca por las siguientes características y detalles que se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 3

Características de la Angelus 60L

Elemento	Descripción
Cabezales de cierre	La máquina cuenta con 6 cabezales, lo que permite trabajar a alta velocidad y lograr un cierre eficiente. Además, se adaptan a latas de distintos tamaños.
Rulinas	Cada cabezal tiene dos rulinas: una para la primera operación y otra para la segunda. Estas pueden ajustarse o cambiarse según el tipo de lata que se esté trabajando.
Velocidad de producción	La velocidad depende del tamaño y formato de la lata, pero en condiciones normales puede alcanzar hasta 500 latas por minuto.
Facilidad de uso y mantenimiento	Es una máquina relativamente fácil de operar. Tiene un panel accesible y sus partes pueden ajustarse o reemplazarse con relativa facilidad.
Versatilidad	Puede trabajar con distintos tamaños y tipos de latas, lo que la hace útil para diversos productos enlatados.

Nota: detalle a partir de las características de la cerradora Angelus 60L. (Mundolatas, 2023).

1.2.8. Automatización

La automatización industrial se define como la aplicación de sistemas de control y tecnologías digitales para operar procesos productivos de forma automática, integrando dispositivos como sensores, actuadores, controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de supervisión, lo que permite reducir la intervención humana, mejorar la precisión y aumentar la eficiencia en entornos industriales, esta se ha consolidado como un elemento clave en la modernización de la industria, al permitir la integración de tecnologías como redes industriales,

monitoreo en tiempo real y análisis de datos dentro de los procesos productivos (Huacasi et al., 2026); Damián G. et al., (2025) señalan que la automatización ha evolucionado hacia el paradigma de la Industria 4.0, caracterizado por la incorporación de sistemas ciberfísicos, Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y plataformas inteligentes de control, lo que mejora la productividad, optimiza la calidad del producto y facilita la toma de decisiones basada en información en tiempo real, lo cual es fundamental en industrias altamente demandantes como la alimentaria.

En referencia a lo anterior expuesto esta tecnología juega un papel importante, pues permite controlar variables críticas como la velocidad de operación, la sincronización de los mecanismos y la detección de fallas, y en aspectos de control mejora la repetibilidad del proceso de doble cierre y reduce la incidencia de defectos en el sellado.

En la actualidad, la automatización ha evolucionado hacia el paradigma de la Industria 4.0, caracterizado por la interconexión de equipos, el uso de redes industriales y la integración de tecnologías digitales que permiten el monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones basada en datos. Este enfoque busca optimizar los procesos productivos mediante sistemas inteligentes capaces de mejorar la eficiencia, reducir errores y aumentar la calidad del producto final.

1.2.9. Sistemas de control

Astrom y Murray, (2021), definen un sistema de control como un conjunto de estrategias y dispositivos que permiten regular el comportamiento de una máquina para que cumpla con precisión y estabilidad condiciones de operación predefinidas, en procesos como el sellado de latas de atún, el sistema de control gobierna variables críticas como la velocidad

de giro, la sincronización de cabezales y la presencia de envases y tapas que determinan la calidad del doble cierre.

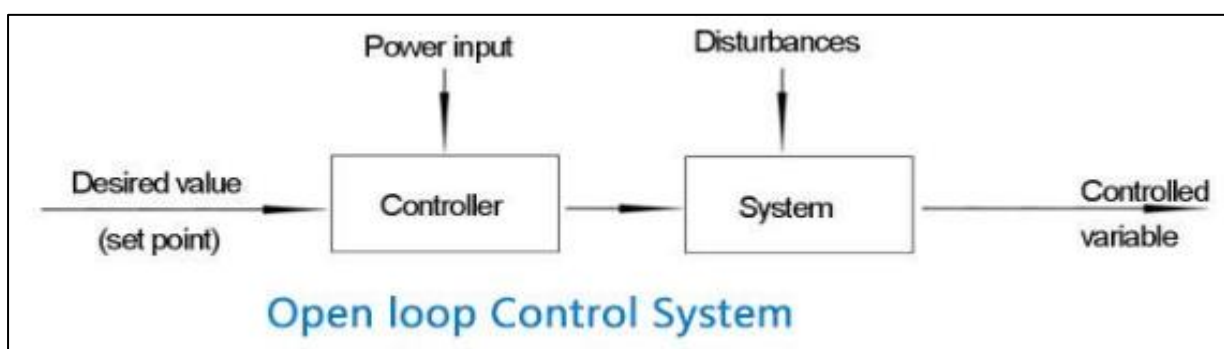
1.2.9.1. Clasificación de los sistemas de control

En automatización, la diferencia entre el lazo de control abierto y el cerrado radica en la presencia o ausencia de retroalimentación.

1.2.9.1.1. Control lazo abierto

Como se muestra en la **Figura 5**, la acción de control se ejecuta sin considerar el resultado obtenido, es decir, no existe un mecanismo que permita verificar si la salida del sistema cumple con el valor deseado, este tipo de control es simple y de bajo costo, pero presenta limitaciones importantes, ya que no puede corregir errores ni adaptarse a perturbaciones del proceso; en esencia, una vez que un sistema de lazo abierto se pone en marcha, continúa su funcionamiento según los parámetros preestablecidos, independientemente de cualquier discrepancia entre la salida real y la prevista (Ntchip, 2024).

Figura 5 Lazo de control abierto



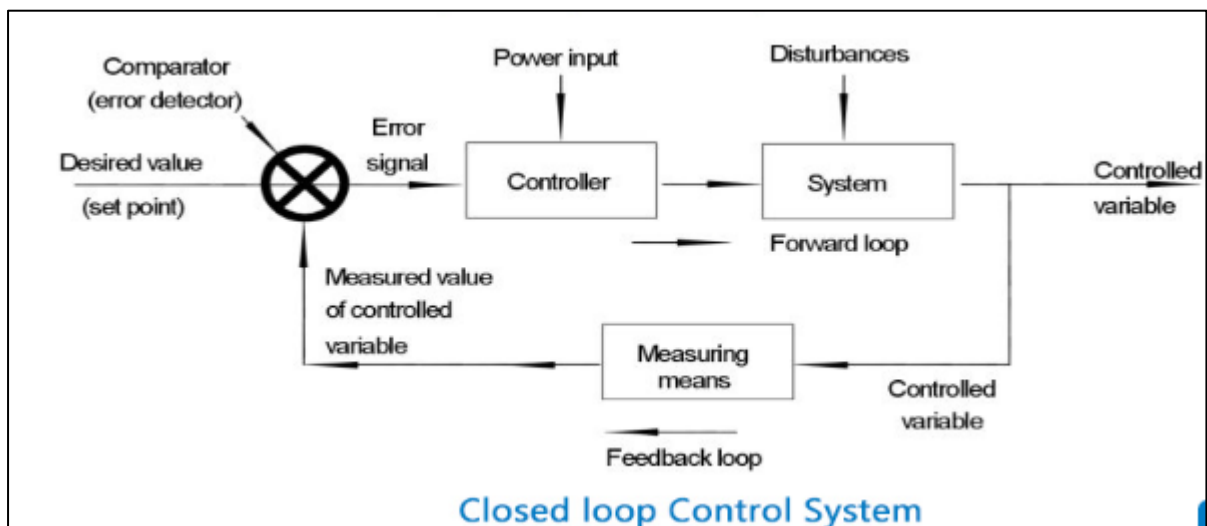
Nota: el sistema ejecuta una orden sin verificar si el resultado es correcto, pero los componentes seleccionados deben cumplir estrictamente con los requisitos de calidad. (Ntchip, 2024).

1.2.9.1.2. Control lazo cerrado

Este tipo de control incorpora un sistema de retroalimentación en el que la salida del proceso se mide mediante sensores y se compara con un valor de referencia; en función de la diferencia (error), el sistema ajusta automáticamente su comportamiento para mantener la variable controlada dentro de los parámetros establecidos.; este tipo de control permite mejorar la precisión, la estabilidad y la capacidad de respuesta frente a cambios en las condiciones de operación como se observa en la **Figura 6**

Figura 6

Control de lazo cerrado.



Nota: el bucle de retroalimentación tiene la capacidad de suprimir interferencias, es insensible a los cambios en las características de los componentes y puede mejorar las características de respuesta del sistema. (Ntchip, 2024).

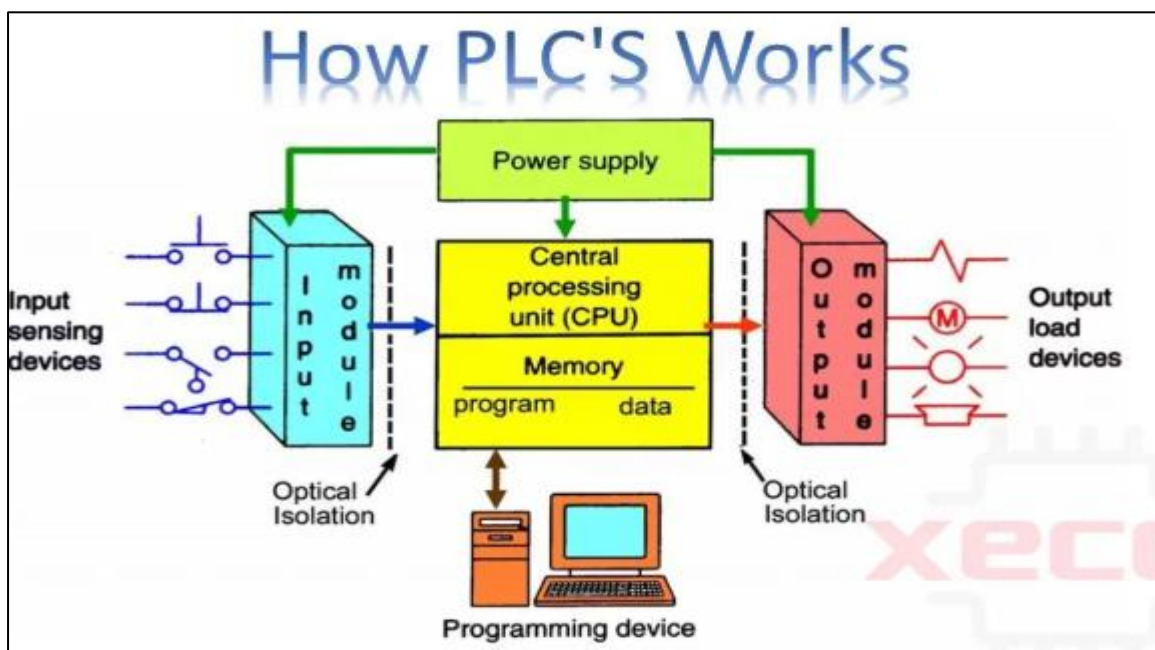
Los sistemas basados en el proceso de doble sellado requieren automatizar sus procesos mediante controladores lógicos programables.

1.2.10. Controladores lógicos programables (PLC)

Ramos y otros, (2025) sostienen que los PLC son dispositivos electrónicos diseñados para controlar procesos industriales en tiempo real, mediante la ejecución de programas que gestionan entradas y salidas digitales y analógicas, su trabajo se ha consolidado en la automatización moderna debido a su robustez, confiabilidad y capacidad de integración con sensores, actuadores y redes industriales y en entornos de manufactura, los PLC permiten reemplazar sistemas cableados tradicionales por soluciones programables, lo que apoya la modificación de la lógica de control y la adaptación a diferentes condiciones de operación.

Figura 7

Principio de funcionamiento del PLC



Nota: Estructura funcional de un PLC. (Reynolds, 2024).

Huacasi y otros, (2026) afirman en relación a la **Figura 7** que un PLC opera siguiendo un ciclo de escaneo continuo que incluye la lectura de señales de entrada, el

procesamiento de la lógica programada y la actualización de las salidas, lo que permite una respuesta rápida y precisa frente a cambios en el proceso.

1.2.10.1. PLC Siemens SIMATIC S7-1200

El PLC SIMATIC S7-1200 que se muestra en la **Figura 8**, desarrollado por Siemens, se ha consolidado como una solución de control para aplicaciones de automatización industrial gracias a su flexibilidad, capacidad de procesamiento y facilidad de integración con sistemas de supervisión, Cangás, (2020) indica que su arquitectura modular permite la integración de entradas y salidas digitales y analógicas, así como la ampliación mediante módulos adicionales, lo que facilita su adaptación a distintos procesos industriales y además opera bajo un ciclo de escaneo continuo que comprende la adquisición de señales de campo, el procesamiento lógico del programa y la actualización de salidas hacia los actuadores.

Figura 8

PLC SIMATIC S7-1200



Nota: controlador lógico programable. (Siemens, 2026).

En investigaciones recientes, como en la de López et al., (2025) se destaca que el uso del PLC S7-1200 en entornos industriales permite mejorar la eficiencia del proceso, optimizar

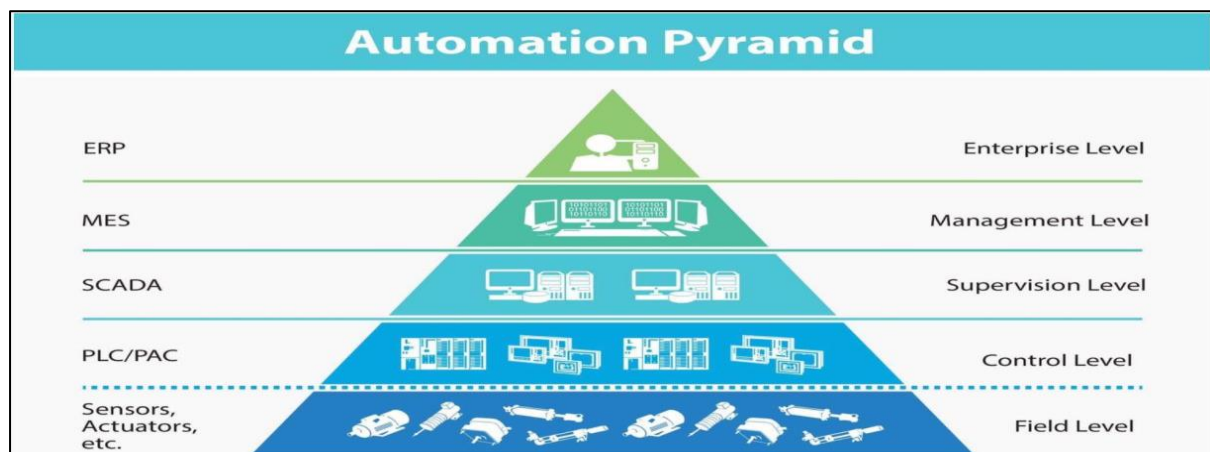
la toma de decisiones y facilitar la integración con tecnologías emergentes como el Internet Industrial de las Cosas IIoT, por ejemplo, estudios aplicados en sistemas de supervisión industrial evidencian que este controlador permite integrar plataformas de monitoreo en tiempo real, mejorando la confiabilidad y el desempeño del sistema de control.

1.2.11. Arquitectura de automatización

Estudios modernos demuestran que las arquitecturas de automatización actuales ofrecen escalabilidad al integrar sus recursos de manera integral y por niveles como se observa en la **Figura 9**, lo que permite la comunicación entre PLC, HMI y sistemas SCADA mediante protocolos industriales como PROFINET, OPC UA o MQTT; esta integración mejora la eficiencia operativa, el monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones en entornos industriales complejos (Unimat, 2025).

Figura 9

Pirámide de automatización



Nota: Arquitectura operativa de automatización (Integrated control systems, 2026).

1.2.12. Protocolos de comunicación industrial

La evolución de la automatización industrial ha hecho indispensable el desarrollo de protocolos de comunicación capaces de unificar toda la planta; hoy estos protocolos actúan como un sistema nervioso que conecta desde simples sensores y actuadores hasta interfaces operativas HMI y sistemas de supervisión avanzada, en donde su verdadero valor radica en que rompen las barreras entre los distintos niveles de la fábrica, asegurando que los datos fluyan en tiempo real, con una sincronización milimétrica y la disponibilidad que exigen los entornos industriales de alta precisión.

(Seong et al., 2023) refieren que el panorama de la manufactura automatizada moderna se encuentra fundamentado en arquitecturas de red como OPC UA, EtherCAT, Modbus TCP, EtherNet/IP, PROFINET y PROFIBUS, herramientas de comunicación que destacan en el sector industrial por su aptitud para canalizar el control descentralizado, la supervisión en entornos de tiempo crítico y la convergencia con los ecosistemas de la Industria 4.0; no obstante, la adopción de una tecnología específica está supeditada a variables operacionales críticas, entre las que sobresalen la latencia permisible, la densidad del tráfico de información, la interoperabilidad del hardware y las particularidades del entorno de manufactura, en este contexto se muestra la clasificación de protocolos industriales en la **Tabla 4**.

Tabla 4

Clasificación de protocolos industriales más utilizados.

Protocolo	Características	Aplicaciones
PROFINET	Comunicación Ethernet Industrial en tiempo real, alta velocidad y diagnóstico avanzado.	PLC Siemens, HMI, variadores, E/S distribuidas.
PROFIBUS DP	Bus de campo ampliamente utilizado para comunicación determinística entre PLC y dispositivos de campo.	Automatización de maquinaria industrial.
EtherNet/IP	Basado en Ethernet TCP/IP utilizando protocolo CIP.	Rockwell Automation, Allen Bradley.
Modbus TCP	Arquitectura abierta cliente-servidor basada en Ethernet.	Instrumentación industrial, SCADA y PLC.
EtherCAT	Comunicación determinística de muy alta velocidad.	Sistemas servoaccionados y robótica.
OPC UA	Plataforma abierta para interoperabilidad e Industria 4.0.	Integración entre sistemas MES, ERP y SCADA.

Nota: Principales protocolos de comunicación industrial. (Seong et al., 2023).

1.2.12.1. Comunicación industrial PROFINET

PROFINET es un protocolo de Ethernet Industrial que se ha creado para intercambiar información entre PLC, HMI, variadores de velocidad, sensores y actuadores dentro de arquitecturas de automatización distribuida, su principal ventaja radica en la capacidad de proporcionar comunicaciones determinísticas y tiempos de respuesta reducidos, características esenciales en aplicaciones donde el control del proceso requiere sincronización y disponibilidad continua de los datos; destacando que PROFINET constituye una de las tecnologías más empleadas en entornos industriales modernos debido a su capacidad para integrar sistemas de control y supervisión bajo una infraestructura Ethernet estandarizada (Seong y otros, 2023) como el que se muestra en la **Figura 10**.

Figura 10

Arquitectura de comunicación PROFINET



Nota: Arquitectura jerárquica de comunicación PROFINET. Elaborado por el Autor.

1.2.13. Actuadores eléctricos y electroneumáticos empleados en el sistema de automatización de la cerradora Angelus 60L

Relés auxiliares industriales

Estos elementos constituyen dispositivos electromecánicos ampliamente utilizados en sistemas de automatización industrial para realizar funciones de maniobra, aislamiento eléctrico y amplificación de señales de control; su principio de funcionamiento consiste en la energización de una bobina que genera un campo electromagnético, provocando el cambio de estado de uno o varios contactos eléctricos, característica permite controlar cargas de mayor potencia mediante señales de bajo nivel provenientes del PLC, protegiendo las salidas digitales del controlador y aumentando la confiabilidad del sistema de automatización (Prajwal et al., 2021).

1.2.13.1. Contactores electromagnéticos

Para ejecutar el control destinado a conexión y desconexión de cargas de potencia mediante señales de baja energía provenientes del sistema de control, se hace uso de contactores electromagnéticos como actuadores eléctricos, con una estructura compuesta por una bobina electromagnética, contactos principales y contactos auxiliares, permitiendo maniobrar motores eléctricos y otros equipos industriales de forma segura y repetitiva.

Prajwal et al., (2021) refieren que, en aplicaciones automatizadas, los contactores desempeñan un papel fundamental al permitir la separación entre los circuitos de control y los circuitos.

1.2.13.2. Electroválvulas neumáticas 5/2

La activación de la bobina provoca el desplazamiento interno del carrete distribuidor, modificando el recorrido del aire comprimido y produciendo el movimiento del actuador neumático correspondiente, debido a su elevada velocidad de respuesta, confiabilidad y facilidad de integración con sistemas PLC, las válvulas 5/2 son ampliamente utilizadas en procesos automatizados de manufactura y líneas de producción industrial; Ruzarovsky et al., (2025) en estudios recientes resaltan que los actuadores electroneumáticos continúan siendo una solución eficiente para aplicaciones donde se requieren movimientos rápidos, repetitivos y alta disponibilidad operativa.

Las electroválvulas neumáticas constituyen actuadores electroneumáticos cuya función consiste en controlar la dirección del flujo de aire comprimido hacia cilindros o mecanismos neumáticos y entre las configuraciones más empleadas se encuentran las válvulas 5/2, caracterizadas por disponer de cinco vías y dos posiciones de conmutación, permitiendo controlar actuadores neumáticos de doble efecto mediante señales eléctricas generadas por el PLC.

1.2.13.2. Sensores inductivos

Estudios recientes señalan que los sensores inductivos son una alternativa confiable para aplicaciones de posicionamiento, conteo, sincronización y monitoreo de procesos automatizados, debido a su elevada repetibilidad y estabilidad en condiciones de operación severas; también, su funcionamiento sin contacto mecánico reduce significativamente el desgaste de los componentes, incrementando la vida útil del sistema y disminuyendo los costos asociados al mantenimiento preventivo y correctivo (Florin y Fodor, 2025); esta tecnología ofrece características de una elevada precisión de detección, tiempos de respuesta reducidos y una alta inmunidad frente a vibraciones, polvo, humedad y contaminantes presentes en ambientes industriales, constituyendo uno de los dispositivos de detección más utilizados en el entorno industrial debido a su capacidad para identificar objetos metálicos sin necesidad de contacto físico.

Florin y Fodor, (2025) indican que la operación de los sensores inductores se fundamenta en el principio de la inducción electromagnética, mediante el cual una bobina excitada por un oscilador de alta frecuencia genera un campo electromagnético, en donde un objeto metálico ingresa dentro del área de detección, se inducen corrientes parásitas que modifican las características del campo generado, produciendo una variación en la amplitud del oscilador que es procesada electrónicamente para activar la salida del sensor.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Contexto de la investigación

El presente proyecto de investigación se desarrolla en el contexto de una industria atunera, orientada al procesamiento, envasado y conservación de productos derivados del atún, destinados tanto al mercado nacional como al internacional, este tipo de instalaciones industriales se caracteriza por operar bajo estrictos estándares de calidad, inocuidad alimentaria, seguridad industrial y eficiencia productiva, en concordancia con normativas internacionales que regulan la industria de alimentos enlatados, la confiabilidad de los procesos productivos resulta fundamental para garantizar la estabilidad del producto final y la competitividad en el mercado global.

El enfoque de este proyecto se centra específicamente en el área de enlatado, considerada una de las etapas más críticas de la cadena de producción, por su influencia directa en la conservación del producto; en esta etapa opera la cerradora de latas Angelus 60L, equipo esencial encargado de realizar el sellado hermético de los envases antes de su ingreso a los procesos de esterilización y almacenamiento, sabiendo que la calidad del sellado constituye un factor determinante en la vida útil del producto, ya que evita la contaminación microbiológica y asegura la integridad del contenido.

La **Figura 11** evidencia el estado en que se encuentra instalada la cerradora, conformada por un conjunto de sistemas mecánicos, eléctricos y de control, los cuales incluyen bandas transportadoras, dispositivos de alimentación, sensores de detección y equipos auxiliares que permiten mantener un flujo continuo de producción; no obstante, a pesar de contar con cierto nivel de mecanización, se evidencian limitaciones relacionadas con el control

del proceso, la supervisión en tiempo real y la detección oportuna de fallas, lo que puede derivar en defectos de sellado, interrupciones en la producción y pérdidas económicas para la empresa.

Figura 11

Cerradora Angelus 60L.



Nota: cerradora en estado inicial sin automatizar. Tomada por el autor.

La implementación de un sistema de automatización basado en un controlador lógico programable Siemens S7-1200, junto con sensores industriales y una HMI se plantea como una solución tecnológica orientada a optimizar el proceso de sellado, lo que mejorará la precisión en la operación de la cerradora, incrementará la confiabilidad del sistema y reducirá la variabilidad del proceso productivo. Asimismo, contribuye a la modernización de la línea de enlatado, alineándose con las tendencias actuales de automatización industrial y de transformación digital en el sector alimentario.

2.2. Diseño y alcance de la investigación

Este apartado permite analizar el comportamiento operativo de la cerradora Angelus 60L antes y después de la implementación del sistema de automatización propuesto, este tipo de diseño resulta pertinente en entornos industriales reales, donde no es posible establecer una asignación aleatoria de las condiciones de prueba ni disponer de un grupo de control independiente, pero sí se puede evaluar el efecto de una intervención tecnológica sobre un mismo sistema en dos momentos distintos; en este caso, la incorporación del sistema de control basado en el PLC Siemens S7-1200, complementado con sensores inductivos, variador de frecuencia y HMI, busca optimizar el proceso de sellado de la cerradora y determinar objetivamente el efecto de la automatización sobre el desempeño de la máquina, comparando los resultados obtenidos en su condición original con los alcanzados después de la automatización.

El alcance del estudio es de carácter aplicado y evaluativo, ya que se orienta a resolver un problema específico identificado en una máquina crítica de la industria atunera, mediante el desarrollo e implementación de una solución tecnológica concreta centrándose en una cerradora Angelus 60L instalada en una planta de procesamiento de atún, considerando su funcionamiento dentro del área de enlatado, donde la calidad del sellado influye directamente en la conservación del producto y en la continuidad del proceso productivo.

Se evalúan variables operativas asociadas al desempeño de la máquina, entre ellas: la velocidad de producción, la frecuencia de paradas no planificadas y la incidencia de defectos en el sellado; también, se analiza el aporte de los elementos incorporados en la automatización, como la detección de eventos mediante sensores, la regulación de velocidad por medio del variador de frecuencia y la supervisión del proceso a través de la HMI.

2.2.1. Tipo de investigación

2.2.1.1. Investigación experimental

Presenta un componente experimental, dado que se interviene directamente en las condiciones de operación de la cerradora Angelus 60L con el propósito de observar los efectos de la automatización del sistema; la variable independiente, representada por la implementación del sistema de control automatizado, se evalúa en su incidencia sobre variables dependientes relacionadas con el rendimiento de la máquina.

2.2.1.2. Investigación descriptiva

La presente investigación adopta un alcance descriptivo, ya que se orienta a caracterizar el funcionamiento operativo de la cerradora Angelus 60L antes y después de la implementación del sistema de automatización basado en un PLC Siemens S7-1200, enfoque que ha permitido observar, registrar y analizar las condiciones mecánicas, eléctricas y de control del equipo, así como la interacción entre los dispositivos de campo, los elementos de supervisión y el operador, identificando las principales limitaciones del sistema convencional y las mejoras obtenidas mediante la propuesta tecnológica.

Complementariamente, la investigación se sustenta en una revisión sistemática de literatura científica y documentación técnica especializada sobre automatización industrial, controladores lógicos programables, sistemas HMI, protocolos de comunicación industrial, sensores, actuadores y procesos de sellado en la industria conservera; proceso que permite establecer el fundamento teórico de la investigación, identificar antecedentes relevantes y definir los criterios técnicos que sustentaron el diseño, desarrollo e implementación de la solución propuesta. Tipo y métodos de la investigación

2.3 Métodos de investigación

2.3.1. Método cuantitativo

El enfoque cuantitativo se emplea para medir objetivamente el desempeño de la cerradora antes y después de la automatización, a través de este método se obtienen datos numéricos asociados a variables operativas del proceso, tales como la velocidad de producción, la cantidad de defectos en el sellado y la frecuencia de detenciones no programadas; lo que permite comparar ambos escenarios de operación y establecer, con base en evidencias medibles, el impacto de la implementación del sistema automatizado.

2.3.2. Método cualitativo

El método cualitativo complementa el análisis cuantitativo mediante la interpretación de aspectos relacionados con la experiencia operativa, la percepción del personal y las condiciones de funcionamiento del equipo; en este sentido, se considera la observación directa del proceso y la apreciación de operadores o técnicos vinculados al uso y mantenimiento de la cerradora.

2.3.3. Método comparativo

El método comparativo se utiliza para establecer diferencias entre el estado inicial de la cerradora Angelus 60L y su estado posterior a la automatización. La comparación se basa en indicadores técnicos y operativos, lo que permite determinar si la propuesta implementada genera mejoras significativas en el desempeño del equipo, al contrastar un sistema de control convencional con uno automatizado e identificar ventajas concretas en términos de eficiencia, calidad del sellado y confiabilidad operativa.

2.4. Población y muestra

Por tratarse de una investigación aplicada con intervención directa en un equipo específico, la muestra se circunscribe a una cerradora Angelus 60L instalada en una planta procesadora de atún; la selección de esta muestra responde a criterios de accesibilidad, disponibilidad técnica y relevancia industrial, dado que la máquina representa adecuadamente las condiciones reales de operación de sistemas similares del sector.

La muestra es puntual; se considera representativa para los fines del estudio, ya que el equipo analizado comparte principios mecánicos, eléctricos y funcionales con otras cerradoras del mismo modelo empleadas en contextos productivos equivalentes.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.5.1. Herramientas de recopilación de datos

2.5.1.1. Observación directa en planta

Se realizó una observación directa en el área de enlatado, específicamente en la operación de la cerradora Angelus 60L, lo que permitió identificar las condiciones reales de funcionamiento del equipo, las limitaciones del sistema de control convencional y los puntos críticos del proceso de sellado.

La observación orientó hacia aspectos como la continuidad del proceso, la interacción entre los sistemas mecánicos y eléctricos, y la ocurrencia de fallas operativas; facilitando la definición de requerimientos para la implementación del sistema automatizado.

2.5.1.2. Entrevistas

Se realizaron entrevistas no estructuradas a quienes se encargan de la operación y el mantenimiento de la cerradora, con el propósito de recopilar información sobre el desempeño del sistema actual, las dificultades operativas y los riesgos asociados al proceso manual, lo que incide en obtener una visión práctica del problema, identificando aspectos como la frecuencia de fallas, la dificultad en la detección de errores y la necesidad de mejorar la supervisión del proceso.

2.5.1.3. Sensores y adquisición de datos

Para la toma de datos se empleó sensores integrados al sistema automatizado para la adquisición de variables operativas del proceso como: presencia de latas y tapas, velocidad de operación del sistema y condiciones de funcionamiento del equipo, los que permitieron obtener datos en tiempo real dando garantías en aspectos de precisión en las mediciones y facilidad en el análisis del comportamiento del sistema antes y después de la automatización.

2.5.2. Software de implementación y monitoreo.

2.5.2.1. TIA Portal

El entorno de programación TIA Portal se utilizó para desarrollar el programa de control del PLC Siemens S7-1200, con el fin de configurar, simular y ajustar la lógica de control del sistema automatizado, garantizando el adecuado funcionamiento de la cerradora.

2.5.2.2. Interfaz HMI

La interfaz HMI hombre-máquina se implementó como herramienta de monitoreo y control, permitiendo visualizar el estado de la máquina, los eventos del sistema y las alarmas generadas durante la operación.

2.5.3. Evaluación de calidad del proceso

2.5.3.1. Inspección visual y pruebas de sellado

Se ejecutan inspecciones visuales y pruebas de calidad para evaluar la integridad del sellado de las latas procesadas, lo que ha permitido identificar fallencias como: rayaduras en el envase, deformaciones, fallas en la costura del sellado, aspectos necesarios para validar la efectividad del sistema.

2.5.4. Tratamiento de los datos

2.5.4.1. Organización de datos

Se organizó la información de manera sistemática, clasificándola según las variables de estudio, lo que facilitó el análisis para optimizar el sistema de sellado.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Integración de hardware y software para la automatización de la cerradora Angelus 60L basada en PLC S7-1200

Tanto la precisión en el control de variables como la velocidad de operación, la sincronización mecánica y la detección de eventos anómalos influyen directamente en la integridad del doble cierre siendo el proceso de sellado de latas de atún una etapa crítica en donde se garantiza la hermeticidad del envase, la calidad e inocuidad del producto, por tanto la automatización se torna importante debido a la supervisión y regulación con continuidad, este proceso garantiza el funcionamiento eficiente del sistema integrando el hardware y software adecuado en su estructura, de esta manera la intervención del PLC Siemens S7-1200 como unidad de control principal, sensores, actuadores y los componentes del software como herramienta de programación, simulación y supervisión del sistema crean una arquitectura de automatización robusta y confiable, orientada a mejorar la eficiencia operativa, la calidad del sellado y la continuidad del proceso productivo en la industria atunera.

3.1.1. Hardware

En el desarrollo e implementación del sistema de automatización propuesto, el PLC Siemens SIMATIC S7-1200 demostró robustez y se adaptó a las condiciones operativas de la cerradora Angelus 60L en el entorno industrial atunero; este tipo de controlador, diseñado para aplicaciones de rendimiento medio, integra en una sola plataforma capacidades de procesamiento, comunicación y control, lo que permitió gestionar de manera eficiente las variables críticas del proceso de sellado, tales como la velocidad del motor, la detección de latas y tapas, así como la supervisión de eventos anómalos.

Durante la fase experimental, se evidenció que la arquitectura basada en el S7-1200 facilitó la integración de dispositivos de campo, como sensores inductivos y actuadores, con el sistema de supervisión mediante la interfaz HMI, lo que permitió establecer un sistema de control en lazo cerrado, en el que el monitoreo en tiempo real contribuyó a mejorar la precisión del proceso de sellado y a reducir la incidencia de defectos operativos; por otro lado, la implementación de comunicación mediante PROFINET, protocolo industrial incorporado en el PLC, admitió una transmisión eficiente de datos entre los diferentes componentes del sistema, garantizando tiempos de respuesta adecuados en la ejecución de las tareas de control.

3.1.1.1. PLC Siemens S7-1200

La incorporación del PLC Siemens SIMATIC S7-1200 como núcleo del sistema de control evidenció mejoras sustanciales en la operación de la cerradora Angelus 60L; el ejercicio de automatización industrial, entendido como la capacidad de ejecutar procesos de forma autónoma mediante sistemas de control programables, permitió sustituir prácticas operativas dependientes de la intervención manual por un esquema de control estructurado, preciso y repetible; un cambio que se tradujo en una mayor estabilidad del proceso de sellado y en la reducción de variaciones no deseadas durante la operación.

Figura 12

PLC Siemens SIMATIC S7-1200



Nota: controlador lógico programable Siemens S7-1200 utilizado como unidad principal de control en el sistema automatizado de la cerradora de latas. (Jc-Electronics).

(Siemens, 2025) muestra que el PLC que se observa en la **Figura 12** integra, en una arquitectura compacta, la unidad central de procesamiento (CPU), módulos de entrada y salida, fuentes de alimentación y capacidades de comunicación industrial, configuración que ha permitido gestionar en tiempo real la información proveniente de sensores de campo, procesarla mediante la lógica programada en el entorno TIA Portal y ejecutar acciones de control sobre actuadores como el motor principal, el sistema de alimentación de tapas y los mecanismos de sincronización del sellado; esta operación, la CPU realizó un ciclo continuo de lectura, procesamiento y ejecución, lo que garantizó una respuesta oportuna ante cambios en las condiciones del proceso, mejorando la confiabilidad del sistema automatizado.

Por su capacidad de adaptación a aplicaciones de complejidad media y su compatibilidad con entornos industriales que requieren la integración de múltiples dispositivos, se seleccionó el modelo CPU 1214C DC/DC/DC (6ES7214-1AG40-0XB0), el cual resulta adecuado para el control de la cerradora, al disponer de entradas para la adquisición de señales

provenientes de sensores inductivos y de salidas necesarias para la automatización, las que se observan en la **Tabla 5**.

Tabla 5
Especificaciones técnicas del PLC S7-1200

Característica	Especificación
Entradas digitales	14 (24 V DC)
Salidas digitales	10 (24 V DC, 0.5 A por canal)
Entradas analógicas	2 integradas (0–10 V)
Alimentación	20.4 – 28.8 V DC
Comunicación	PROFINET (RJ45)
Memoria de programa	100 kB
Memoria de datos	75 kB
Expansión	Hasta 3 módulos de señal

Nota: características técnicas más importantes del PLC. (Siemens, 2025).

Con respecto a la comunicación mediante el protocolo PROFINET, se permitió la integración del PLC con la interfaz HMI, lo que facilitó la visualización de variables en tiempo real, la generación de alarmas y el registro de eventos operativos. Javaid et al., (2022) confirman que esta integración mejoró la supervisión del proceso y permitió a los operadores intervenir de manera oportuna ante posibles fallas, contribuyendo a la continuidad operativa del sistema.

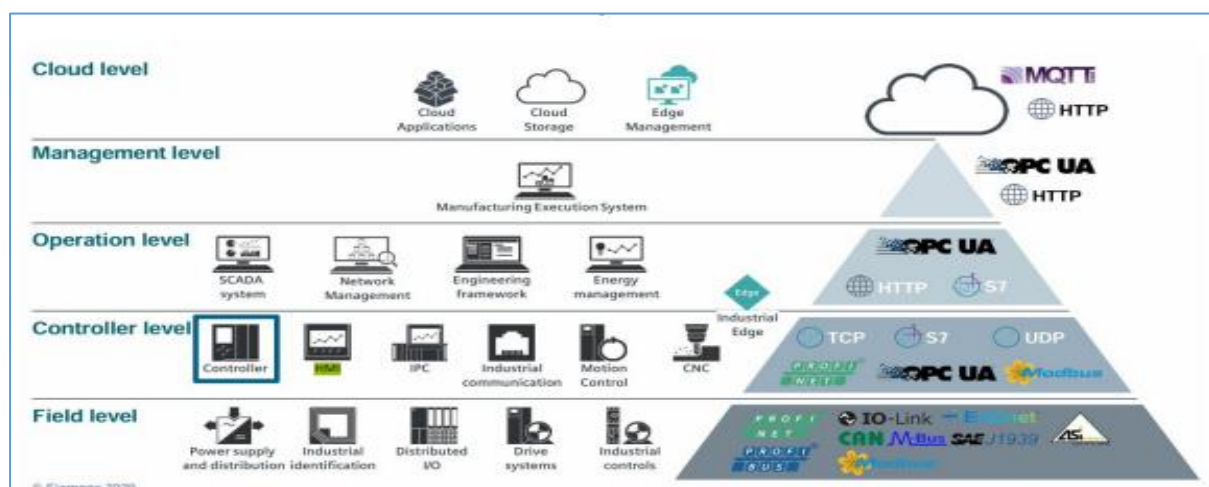
Entorno de comunicación

En el contexto de la automatización de la cerradora Angelus 60L, la implementación de una HMI permitió mejorar significativamente la supervisión y el control del proceso de sellado,

facilitando la visualización en tiempo real de variables críticas como la velocidad de operación, el estado de los sensores, la presencia de latas y tapas, así como la detección de eventos anómalos durante la producción; el interfaz HMI, como vínculo entre el operador y el sistema de control, se diseñó con el objetivo de reducir errores humanos, ofreciendo un manejo fácil, estructurado y accesible para la gestión y la toma de decisiones, así este sistema genera alarmas y registros históricos, lo que facilita el análisis del comportamiento del equipo; sabiendo que el protocolo de comunicación PROFINET permite integrar diferentes niveles de comunicación en el sistema, como lo muestra la **Figura 13**, estructura que facilita el intercambio de información entre el nivel de campo (sensores y actuadores), el de control (PLC) y el de supervisión (HMI).

Figura 13

Niveles de comunicación PROFINET



Nota: Representación de la jerarquía de niveles de comunicación que permiten la comunicación desde el HMI hasta el modelo del PLC Siemens S7-1200 ((Parrales Villigua, 2025)).

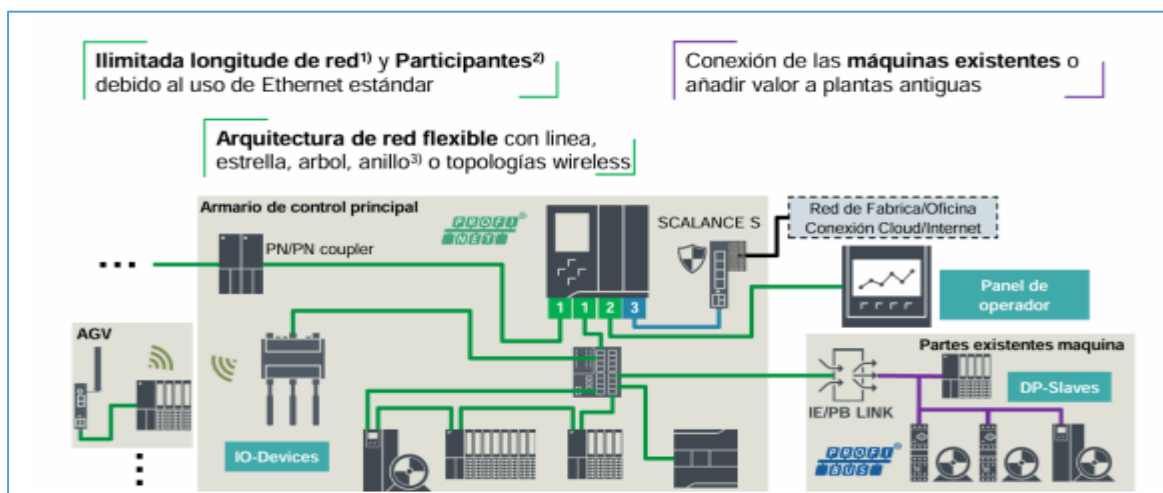
Estructura de comunicación PROFINET

La comunicación en sistemas automatizados constituye un elemento clave que garantiza la integración eficiente de los dispositivos que integran el control; de este modo, al incorporar

el PLC Siemens S7-1200, este protocolo permite una comunicación de alta velocidad y confiabilidad entre sensores inductivos, actuadores, variadores de frecuencia y, por supuesto, la interfaz HMI. La red de comunicación Profinet que se muestra en la **Figura 14** facilita la transmisión de datos en tiempo real, potenciando la sincronización entre todos los elementos que conforman la cerradora y optimizando la detección de eventos como la presencia de latas, el posicionamiento de tapas y la identificación de posibles atascos, lo que asegura la continuidad del proceso productivo.

Figura 14

Red de comunicación PROFINET



Nota: representación gráfica de la configuración de la red PROFINET y del HMI (Parrales , 2025).

El diagnóstico, la escalabilidad y la operabilidad que ofrece la comunicación PROFINET proveen una integración eficiente en las arquitecturas de la industria 4.0; por lo tanto, la automatización de la Angelus 60L mejora su rendimiento y sienta las bases para la supervisión avanzada y el análisis de datos en tiempo real en proyectos futuros (Khan et al., 2021).

3.1.1.2. Variador de frecuencia

La incorporación de un variador de frecuencia (VFD) en sistema de accionamiento de la cerradora permite el control dinámico del proceso de sellado regulando continuamente la velocidad del motor principal, ajustándola en funciones de las condiciones operativas requerida por el sistema automatizado lo que optimiza la calidad del doble cierre, técnicamente el VDF actúa sobre motores de corriente alterna mediante la modificación de la frecuencia y el voltaje de alimentación, lo que incide directamente en la velocidad de rotación, comportamiento que se fundamenta en el principio de operación de los motores de inducción, donde la velocidad síncrona depende de la frecuencia de la señal eléctrica y del número de polos del motor, en el contexto de este trabajo la capacidad del variador de frecuencia permite adaptar la velocidad de operación de la cerradora a diferentes condiciones de carga, evitando fenómenos como vibraciones, golpes mecánicos o deslizamientos que afectan la integridad del sellado, lo que ejecutó operaciones con mayor estabilidad y control, sobre todo en el arranque y paro del sistema.

La tecnología utilizada por estos variadores hace uso de dispositivos transistores IGBT, los cuales permiten generar señales moduladas por ancho de pulso (PWM) para reproducir formas de onda de frecuencia variable, lo que provee de un control eficiente de energía suministrada al motor, así la Angelus 60L demostró fineza en su control de velocidad del proceso de sellado y reducción de fallas como deformaciones o fallas en la costura (Yin y otros, 2014).

Figura 15

Variador de Frecuencia Siemens SINAMICS V20



Nota: Variador de frecuencia Siemens SINAMICS V20 utilizado para el control de velocidad del motor principal en la automatización de la cerradora Angelus 60L. (Automation24, 2025)

El variador de frecuencia incorporado corresponde al modelo Siemens SINAMICS V20 de 10 HP, integrado con el PLC Siemens S7-1200, tal que se muestra en la **Figura 15** utilizado para controlar de manera precisa la velocidad del motor principal, se reguló mediante una señal analógica de 0–10 V, mientras que las funciones de marcha, paro y modo JOG fueron gestionadas mediante entradas digitales, además, el variador proporcionó señales de retroalimentación al PLC sobre estados operativos y fallas del sistema, mejorando la supervisión y el diagnóstico del proceso; en la **Tabla 6** se muestran las características del variador necesarias para la automatización de la cerradora.

Tabla 6

Especificaciones técnicas del modelo del variador

Parámetro	Especificación
Modelo	SINAMICS V20
Rango de potencia	0.12 kW a 30 kW (0.16 HP a 40 HP)
Potencia del modelo seleccionado	7.5 kW (10 HP)
Alimentación	380-480 V AC trifásica $\pm 10\%$, 50/60 Hz
Corriente nominal de salida	16.5 A (para 7.5 kW a 400V)
Rango de frecuencia de salida	0 Hz a 550 Hz
Frecuencia de conmutación	2 kHz a 16 kHz (programable)
Sobrecarga	150% durante 60 segundos
Grado de protección	IP20 (estándar), opción IP21/NEMA 1
Interfaz de comunicación	USS, Modbus RTU integrado (RS485)
Entradas digitales	4 (PNP/NPN seleccionable)
Salidas digitales	1 (relé, 30V DC/250V AC, 5A)
Entradas analógicas	2 (0-10V, 0-20mA, 4-20mA)
Salidas analógicas	1 (0-10V, 0-20mA)
Normativas	CE, UL, cUL, C-Tick, EAz

Nota: Características del modelo del variador, necesarias para la cerradora. Elaborado por el autor.

Modos de control disponibles

Durante la implementación del variador de frecuencia en la cerradora Angelus 60L, se analizaron diferentes estrategias de control disponibles en el sistema SINAMICS V20, con el propósito de identificar el modo de operación más adecuado para las condiciones del proceso de sellado; seleccionar el método de control influye directamente en la estabilidad del motor, la respuesta dinámica del sistema y la eficiencia energética de la máquina, de esta manera en la **Tabla 7** se describen los principales modos de control evaluados y su aplicación dentro del entorno industrial automatizado.

Tabla 7

Modos de control del variador de frecuencia aplicados en la automatización de la cerradora Angelus 60L

Modo de control	Descripción técnica	Aplicación en la cerradora Angelus 60L
Control V/f lineal	Mantiene una relación proporcional entre el voltaje y la frecuencia suministrados al motor, garantizando un comportamiento estable durante la operación.	Adecuado para el accionamiento principal de la cerradora, debido a que el sistema requiere velocidad constante y estabilidad en el proceso de sellado.
Control V/f cuadrático	Modifica la relación voltaje–frecuencia de manera progresiva para optimizar el consumo energético en cargas variables.	Aplicable en sistemas auxiliares con comportamiento de carga variable, contribuyendo a reducir el consumo energético del sistema.
Control V/f con FCC (Flux Current Control)	Incorpora compensación de corriente magnética para mejorar el desempeño del motor a bajas velocidades y durante el arranque.	Permite incrementar el torque inicial de la cerradora, mejorando la respuesta en arranques y evitando caídas de velocidad en condiciones de carga.

Control vectorial sin sensor	Utiliza modelos matemáticos internos para estimar el flujo magnético y controlar el par del motor sin necesidad de encoder externo.	Mejora la precisión y la respuesta dinámica del sistema, favoreciendo la sincronización del proceso de sellado y la estabilidad operativa.
-------------------------------------	---	--

Nota: Modos de control del variador influyentes directamente en la estabilidad operativa, el control de velocidad y la eficiencia energética del sistema automatizado implementado en la cerradora Angelus 60L. (Siemens, 2023).

3.1.1.3. Sensores

Sensores industriales para detección de seguridad.

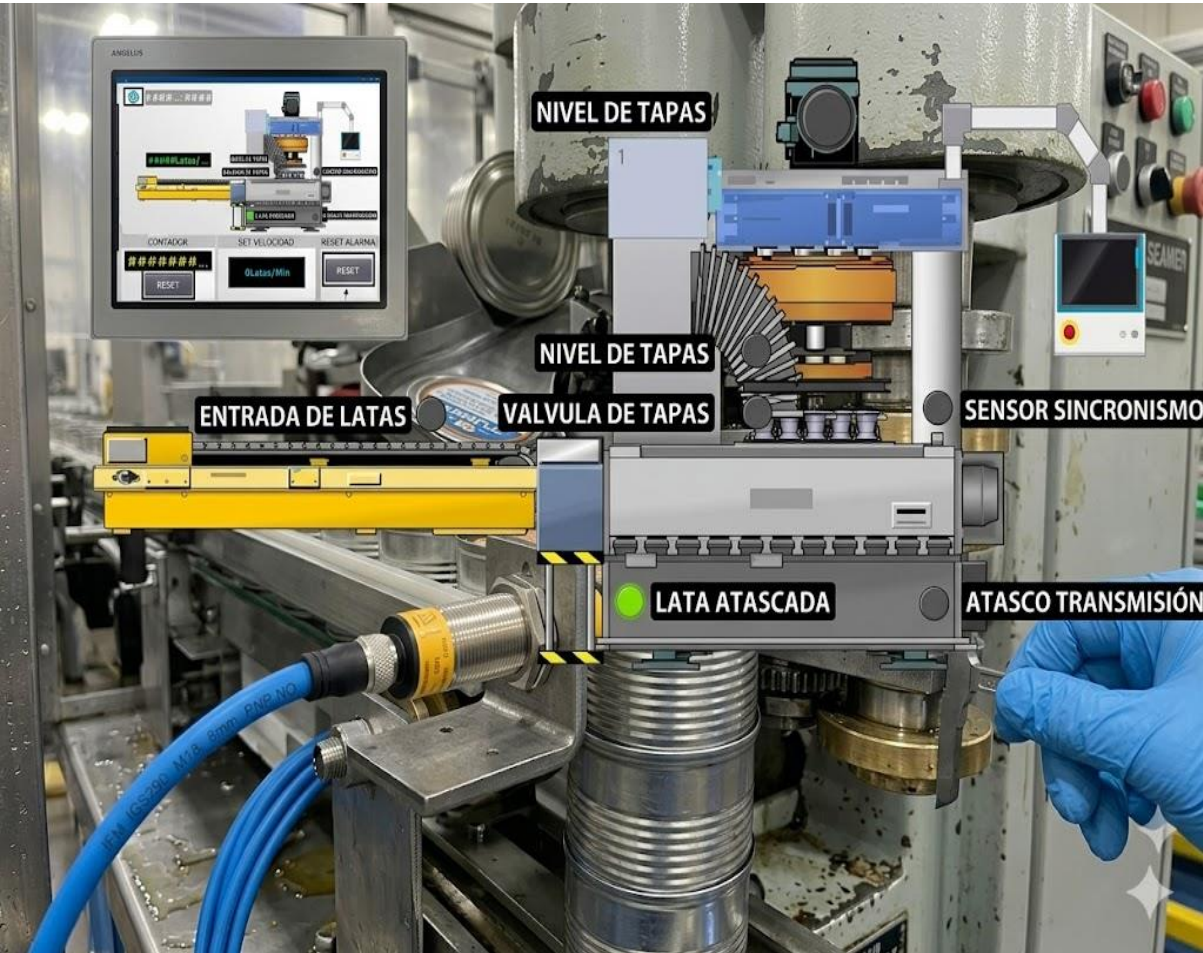
Estos dispositivos desempeñaron un papel fundamental en la supervisión y sincronización del proceso de sellado, se implementaron para detectar, sin contacto físico, la presencia de elementos metálicos como latas, tapas y componentes móviles del sistema, permitiendo enviar señales en tiempo real al PLC Siemens S7-1200 para la ejecución de acciones de control y protección operativa, su principio de funcionamiento se basa en la generación de un campo electromagnético de alta frecuencia; cuando un objeto metálico ingresa en la zona de detección, se producen corrientes parásitas que modifican el comportamiento del campo, activando la salida del sensor.

Sensor inductivo IFM IGS290

El sensor inductivo IFM IGS290 que se observa en la **Figura 16** tiene como principio de funcionamiento la generación de un campo electromagnético de alta frecuencia; cuando un objeto metálico ingresa en la zona de detección, se producen corrientes parásitas que modifican el comportamiento del campo, activando la salida del sensor.

Figura 16

Sensor inductivo IFM IGS290 en cerradora Angelus



Nota: el sensor inductivo IFM IGS290 utilizado para la detección de latas y eventos operativos dentro del sistema automatizado de la cerradora Angelus 60L. Elaborado por el autor.

En la **Tabla 8** se exponen las especificaciones técnicas bajo las que opera el sensor inductivo.

Tabla 8

Especificaciones técnicas de sensor inductivo IGS290

Parámetro Técnico	Detalle de Especificación	Relevancia en Cerradora Angelus
Distancia de detección	8 mm (Montaje no enrasado)	Permite una detección segura de latas de atún sin contacto físico, evitando daños.

Voltaje de operación	10...30 V DC	Compatible con los estándares industriales de los tableros de control PLC.
Tipo de salida	PNP (Normalmente Abierto)	Envía una señal positiva al PLC al detectar la presencia de la lata o sincronismo.
Frecuencia de conmutación	2000 Hz	Capaz de procesar el conteo a altas velocidades de producción (Latas/Min).
Grado de protección	IP 68	Resistente a la humedad y a los fluidos propios del envasado de productos marinos.

Nota: parámetros técnicos del sensor aplicados en la cerradora Angelus. Elaborado por el autor.

Evaluación del desempeño del sensor IFM IGS290 en la cerradora Angelus 60L

Mencionadas las especificaciones técnicas del sensor IGS290, las características con base en la funcionalidad de la cerradora Angelus 60L destacan un desempeño estable y confiable bajo condiciones reales de operación en la línea de latas de atún, permitiendo optimizar la precisión y los eventos del proceso, asegurando continuidad operativa; explícitamente, se ofrece un mejor detalle de las características en la **Tabla 9**.

Tabla 9

Características operativas del sensor inductivo IFM IGS290 implementado en la cerradora Angelus 60L.

Característica	Descripción aplicada al proyecto
Frecuencia de conmutación	2000 Hz, adecuada para procesos de alta velocidad en la línea de sellado
Capacidad de respuesta	Detección estable de latas a velocidades de hasta 350 latas/minuto
Protección IP68 / IP69K	Resistencia a humedad, lavado industrial y chorros de agua a presión

Material del cuerpo	Acero inoxidable V4A resistente a corrosión y agentes químicos
Protección eléctrica	Protección integrada contra cortocircuitos y sobrecarga
Aplicación en el sistema	Detección de latas, tapas y eventos de sincronización en la cerradora
Beneficio operativo	Mejora de precisión, continuidad operativa y reducción de fallas

Nota: Evaluación operativa del sensor en la cerradora Angelus 60L. Elaborado por el autor.

Aplicaciones específicas del sensor en la cerradora

A continuación, en la **Tabla 10** se exponen las funciones y beneficios sobre el uso de sensores de este tipo en la cerradora:

Tabla 10

Aplicaciones específicas del sensor

Sensor	Función	Beneficio
Entrada de latas	Detecta lata próxima a ingresar al proceso	Inicia secuencia de sincronismo
Sincronismo (eje central)	Detecta posición de la estrella para liberar tapa	Implementa sistema "sin lata / sin tapa"
Tapa no liberada	Verifica que la tapa haya sido dosificada	Evita atascamientos y desperdicio
Nivel de tapas	Detecta nivel óptimo en el alimentador	Asegura presión de dosificación correcta

Nota: funciones ejecutadas según la actividad que debe de realizar el sensor. Elaborado por el autor.

Otros sensores que forman parte del proceso de automatización se definen a continuación:

- El sensor de entrada de latas detecta cuando las latas ingresan hacia la cerradora.
- El sensor de sincronismo encargado de detectar cuando la estrella del eje central de la cerradora se alinea a la lata que ingresa, y activa una electroválvula la cual libera una tapa haciendo efecto el sistema “sin lata – sin tapa”, después que el sensor de entrada de latas deja de detectar y el sensor del eje central o sincronismo detecta una segunda vuelta, la electroválvula de tapas se cierra haciendo más eficiente la dosificación de tapas y evitando desperdicio de suministros
- El sensor de tapa no liberada es el encargado de indicarle al PLC cuando una tapa no logra llegar a la lata, evitando atascamientos en los mecanismos de sellado.
- El sensor de nivel de tapas indica un nivel óptimo de trabajo ya que es importante mantener una determinada presión sobre la dosificación de tapas y así evitar ausencia de tapas en el sellado.

Principio físico de operación

Los sensores inductivos en esta implementación operan basándose en el principio de variación de la inductancia por efecto de corrientes parásitas (corrientes de Foucault) y en su estructura interna disponen de los siguientes elementos:

- **Núcleo de ferrita:** Concentra el campo magnético generado por la bobina.
- **Bobina osciladora:** Genera un campo electromagnético de alta frecuencia (típicamente entre 100 kHz y 1 MHz).

- **Circuito evaluador:** Detecta las variaciones en la amplitud de oscilación.
- **Etapa de salida:** Convierte la señal en una salida digital (PNP/NPN).

En conjunto cuando un objeto metálico se aproxima a la cara activa del sensor, se generan corrientes parásitas en su superficie; corrientes inducidas que producen un campo magnético opuesto al original, lo que reduce la amplitud de oscilación del circuito. El circuito evaluador detecta esta reducción y, al superar un umbral predefinido, conmuta el estado de la salida.

Para el proceso de detección correcta la distancia máxima depende de:

- **Conductividad del material metálico:** Los materiales ferromagnéticos (hierro, acero) tienen un mayor factor de reducción que los materiales no ferromagnéticos (aluminio, cobre, latón).
- **Tamaño del objeto:** El objeto debe tener dimensiones comparables o superiores al diámetro de la cara activa.
- **Temperatura ambiente:** Las variaciones térmicas afectan la resistencia de la bobina y la frecuencia de oscilación.

Durante las pruebas realizadas en la automatización de la cerradora, se identificó que el desempeño de los sensores inductivos depende directamente del tipo de material detectado; comportamiento que se asocia al denominado factor de reducción (k), que representa la variación de la distancia efectiva de detección respecto al acero de referencia, para este caso de la línea de enlatado, análisis resultó especialmente importante debido a que las latas procesadas presentan materiales metálicos con diferentes propiedades electromagnéticas, principalmente aluminio y acero inoxidable.

Los resultados demuestran que las latas de aluminio presentan una menor capacidad de detección en comparación con elementos fabricados en acero, reduciendo la distancia efectiva del sensor, por esta razón, ha sido necesario ajustar estratégicamente la ubicación y calibración de los sensores inductivos dentro de la cerradora garantizando una detección estable y evitar errores durante el proceso de alimentación y sincronización del sellado, por lo tanto en la **Tabla 11** se resume el comportamiento del sistema según el material detectado

Tabla 11

Factor de reducción de materiales en sensores inductivos aplicados a la cerradora Angelus 60L.

Material detectado	Factor de reducción aproximado (k)	Aplicación dentro de la cerradora
Acero al carbono (St37)	1.0	Estructura metálica, engranajes y componentes mecánicos
Acero inoxidable	0.6 – 0.9	Superficies y componentes en contacto con alimentos
Aluminio	0.3 – 0.5	Latas de aluminio y piezas livianas del sistema
Latón	0.2 – 0.4	Conexiones neumáticas y elementos auxiliares
Cobre	0.2 – 0.3	Componentes eléctricos y terminales conductores

Nota: evaluación del comportamiento observado según el material detectado y su aplicación en el sistema automatizado. Elaborado por el autor.

Producto de la compatibilidad con la arquitectura de entradas digitales del sistema de control implementado, se utilizaron sensores inductivos con salida tipo PNP, configuración que permitió conmutar señales positivas de 24 V DC hacia el PLC, facilitando una integración más

segura y estable dentro del entorno industrial de la cerradora, esta aplicación se explica en la **Tabla 12.**

Tabla 12

Tipos de salida de sensores inductivos utilizados en la automatización

Tipo de salida	Descripción de funcionamiento	Aplicación en el proyecto
PNP (sourcing)	El sensor entrega una señal positiva de 24 V hacia la carga o entrada del PLC.	Utilizado en la automatización de la cerradora Angelus 60L por compatibilidad con el PLC Siemens S7-1200.
NPN (sinking)	El sensor conmuta el nivel negativo o referencia de 0 V hacia la carga.	Común en sistemas de automatización de origen asiático y PLC de arquitectura japonesa.

Nota: Comparativas entre salidas de sensores inductivos. Elaborado por el autor.

Seguridad y protección operativa en la cerradora Angelus 60L

El sistema de seguridad implementado para la automatización se basa en finales de carrera y mecanismos de protección integrados al PLC Siemens S7-1200, lo que tiene como objetivo mejorar la capacidad de respuesta ante eventos anómalos durante la operación reduciendo riesgos en el personal, estos finales de carrera se instalan en puntos estratégicos de la cerradora logrando detectar condiciones de atascamiento y generar señales de alarma hacia el sistema de control; uno de los dispositivos fue ubicado en el sistema de transmisión principal, permitiendo identificar bloqueos o anomalías mecánicas mediante la activación de una leva asociada al movimiento de la cadena de transmisión; se incorporó un mecanismo de detección de atascamiento de latas en la zona de descarga de la cerradora, donde la acumulación anormal de envases provoca el desplazamiento de un sistema mecánico que activa el interruptor de seguridad correspondiente.

La lógica diferenciada establecida para aplicar un control seguro que fortalezcan las condiciones de seguridad operativa, lo que se describe a detalle en la siguiente **Tabla 13**

Tabla 13

Seguridades implementadas en la cerradora Angelus

Elemento de seguridad	Función dentro del sistema automatizado	Acción ejecutada por el PLC
Final de carrera de transmisión	Detecta anomalías o bloqueos en la cadena de transmisión	Generación de alarma y desacople inmediato del embrague
Final de carrera de atascamiento de latas	Detecta acumulación anormal de envases en la salida de la cerradora	Parada inmediata del sistema y protección del producto
Parada de emergencia	Permite detener manualmente la máquina ante condiciones críticas	Desactivación inmediata del sistema de transmisión
Sensor de apertura de puertas	Supervisa accesos de seguridad durante mantenimiento u operación	Parada controlada sin liberar el embrague
Bobina de desacople del embrague	Desconecta mecánicamente la transmisión de la cerradora	Protección de operadores, equipo y sistema mecánico

Nota: respuestas operativas para la implementación de la seguridad ante eventos anómalos.

Elaborado por el autor.

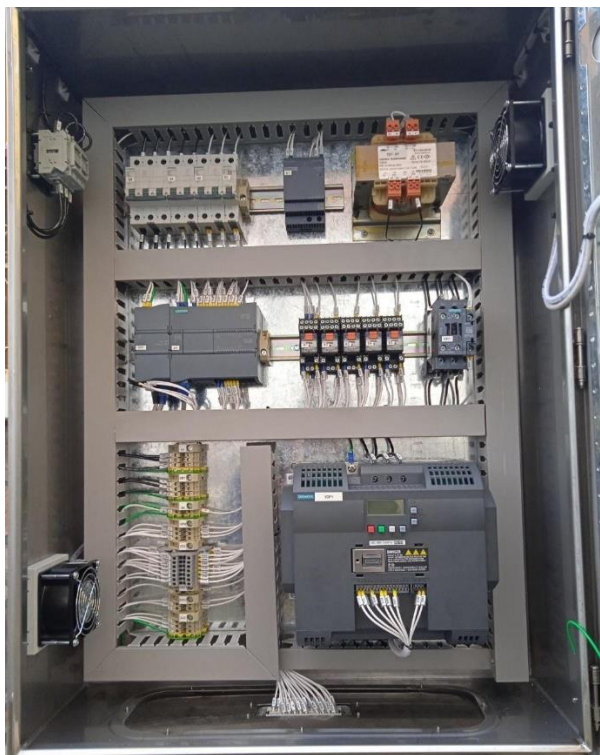
3.1.1.4. Tableros electrónicos

Para este proyecto se diseña y se construye un tablero eléctrico de control orientado a garantizar la operación segura, ordenada y confiable del sistema, el cual permitió integrar los elementos principales de potencia, protección, control y supervisión, asegurando una distribución adecuada de energía hacia el motor principal, el PLC Siemens S7-1200, el variador SINAMICS V20, la HMI, sensores y actuadores asociados al proceso de sellado, en su dimensión eléctrica de se incorpora la alimentación principal de 460 V AC, integrado un

interruptor general para el seccionamiento eléctrico, breakers de protección contra cortocircuitos, un transformador de control de 300 VA para reducir el nivel de tensión de 460 V AC a 220 V AC, y una fuente de 24 V DC destinada al sistema de control, además, se instalaron relés auxiliares para el accionamiento de electroválvulas y ventiladores internos para mantener condiciones térmicas adecuadas dentro del gabinete; con esto se separan los circuitos de potencia y control, reduciendo riesgos eléctricos y facilitando el mantenimiento del sistema.

Figura 17

Tablero eléctrico de control



Nota: Elaborado por el autor.

Como se observa en la **Figura 17** la arquitectura real de control, el tablero incorporó un PLC Siemens S7-1200, responsable de administrar la lógica de automatización de la cerradora, y un variador de frecuencia Siemens SINAMICS V20 de 10 HP, 460 V AC, encargado de regular la velocidad del motor principal mejorando la estabilidad del proceso de sellado, controlar la

Variables de entrada y de conexiones del PLC

eléctricos, electrónicos y programables utilizados en maquinaria industrial, desde el punto de conexión de la alimentación hasta los equipos propios de la máquina, asimismo, la norma IEC 60529 define los grados de protección IP de las envolventes frente al ingreso de polvo, sólidos y líquidos, aspecto relevante para ambientes industriales con humedad y procesos de limpieza frecuentes, específicamente a detalla se mencionan todas las normativas consideradas en la

Tabla 14

Tabla 14

Diseño del tablero y sus normas técnicas.

Norma	Alcance técnico	Aplicación en el proyecto
IEC 61439-1	Reglas generales para conjuntos de equipos de baja tensión	Criterios generales de construcción y verificación del tablero
IEC 61439-2	Requisitos para conjuntos de potencia y control	Organización de circuitos de potencia y protección
IEC 60204-1	Requisitos del equipo eléctrico de maquinaria industrial	Seguridad eléctrica de la cerradora automatizada
IEC 60529	Clasificación del grado de protección IP de envolventes	Selección del gabinete según exposición a polvo y humedad
IEC 60364	Instalaciones eléctricas de baja tensión	Criterios de instalación, protección y distribución eléctrica
IEC 61000-6-2	Compatibilidad electromagnética en ambientes industriales	Protección frente a perturbaciones eléctricas y electromagnéticas
NFPA 79	Estándar eléctrico para maquinaria industrial	Criterios complementarios de seguridad eléctrica en máquinas

Nota: Normativas que rigen la construcción del tablero eléctrico. Elaborado por el autor.

Todo esto fundamenta la función de los componentes principales en el tablero eléctrico que se define en la **Tabla 15**

Tabla 15

Componentes del tablero eléctrico

Componente	Función dentro del tablero	Aplicación en la cerradora Angelus 60L
Interruptor principal	Permite seccionar la alimentación general del sistema	Desconexión segura de la alimentación de 460 V AC
Breakers de protección	Protegen contra cortocircuitos y corrientes elevadas.	Protección de circuitos de potencia y control
Transformador de control	Reduce la tensión de 460 V AC a 220 V AC	Alimentación de circuitos auxiliares
Fuente 24 V DC	Suministra energía al sistema de control	Alimentación de PLC, sensores y relés
Módulo SB 1232 AQ	Genera señales analógicas de salida a partir de variables procesadas por el PLC	Envío de la señal analógica de referencia (0–10 V) para el control de velocidad del variador SINAMICS V20
PLC Siemens S7-1200	Ejecuta la lógica de automatización	Control de secuencia, alarmas y señales del proceso
Variador SINAMICS V20	Regula la velocidad del motor principal	Control dinámico de velocidad de la cerradora
Relés auxiliares	Permiten accionar cargas externas	Activación de electroválvulas y señales auxiliares
Ventiladores internos	Ayudan a disipar calor dentro del gabinete	Protección térmica de equipos eléctricos

Nota: funciones de los componentes instalados en el tablero eléctrico. Elaborado por el autor.

Además de las normas técnicas, el criterio de diseño del tablero eléctrico se basa en el grado de protección IP, que determina la capacidad del gabinete para resistir el ingreso de sólidos y líquidos, seleccionando las IP que se detallan en la **Tabla 16**.

Tabla 16

Grado de protección IP para gabinetes

Gabinete	Grado IP seleccionado	Justificación técnica
Tablero principal de control	IP54	Adecuado para instalación en sala eléctrica, con protección contra polvo y salpicaduras accidentales
Tablero HMI en área de producción	IP65	Recomendado para zonas expuestas a limpieza frecuente y salpicaduras de agua

Nota: Justificación técnica para la aplicación de grados de protección en la implementación del tablero. Elaborado por el autor.

Luego de la justificación técnica se definen y seleccionan los materiales con los que se construye el gabinete, consolidando su arquitectura con elementos de protección, describiéndolos en la **Tabla 17**.

Tabla 17

Material seleccionado del gabinete

Material	Ventajas técnicas	Limitación principal	Uso definido en el proyecto
Acero al carbono con pintura electrostática	Buena resistencia mecánica, costo razonable y protección adecuada para ambientes controlados	Puede corroerse si se deteriora el recubrimiento	Tablero principal IP54

Acero inoxidable	Alta resistencia a humedad, corrosión y agentes químicos	Mayor costo y mecanizado más exigente	Tablero HMI IP65
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	Bajo peso, aislamiento eléctrico y resistencia química	Menor rigidez mecánica y disipación térmica limitada	No seleccionado

Nota: Descripción de los materiales con los que se construye el gabinete que garantizan las condiciones de operación. Elaborado por el autor.

En conjunto con el tablero de control, se implementó el tablero de control que se muestra en la **Figura 19**, el cual integra elementos de supervisión, mando y sistema de automatización basado en PLC Siemens S7-1200.

Figura 19

Tablero de control y de operaciones



Nota: tablero que incorpora el HMI con las representaciones gráficas de la máquina. Elaborado por el autor.

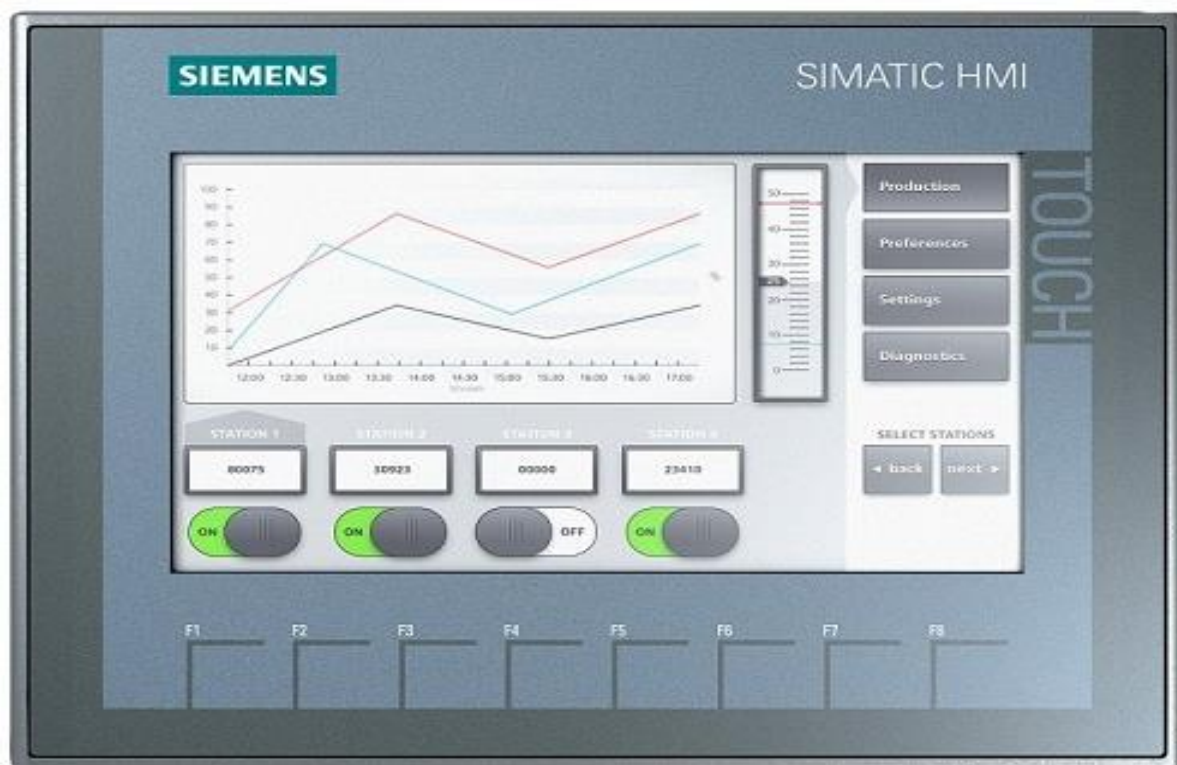
3.1.1.5. Interfaz Hombre-Máquina

Simatic KTP700

Como parte de la automatización de la cerradora Angelus 60L, se integra una HMI basada en el panel SIMATIC HMI KTP700 Basic de Siemens, mostrado en la **Figura 20**, con pantalla táctil de 7 pulgadas y comunicación industrial mediante el protocolo PROFINET. Esta integración de la interfaz permitió mejorar significativamente la supervisión del proceso de sellado, facilitando la interacción entre el operador y el sistema automatizado desarrollado sobre el PLC Siemens S7-1200.

Figura 20

HMI SIMATIC KTP700



Nota: Panel de operación táctil (Asteam Techno Solutions, 2026)

El sistema consta con la capacidad de visualizar avisos de alarmas presentes con la fecha y numero de posición según el orden en el que aparezcan, como complemento se tiene a

disposición un buffer de avisos en donde se facilita conocer que eventos se presentaron aun después de desaparecer el fallo; las opciones de operación que se visualizan son: la velocidad en formato Latas por Minuto (LPM), asimismo, a través de una casilla de lectura y escritura tenemos la posibilidad de manipular el setpoint desde 0 hasta 350 LPM; en la **Tabla 18** se muestran las características del panel.

Tabla 18

Características técnicas de la interfaz HMI SIMATIC KTP700 Basic

Característica	Especificación técnica
Pantalla	TFT a color de 7 pulgadas
Resolución	800 × 480 píxeles
Tipo de operación	Pantalla táctil resistiva
Comunicación	PROFINET mediante conector RJ45
Memoria	10 MB para almacenamiento de configuración y proyectos
Software de configuración	WinCC Basic integrado en TIA Portal
Alimentación eléctrica	24 V DC

Nota: Especificaciones técnicas del panel. Elaborado por el autor.

Para este proyecto se implementan las funciones que se muestran en la

Tabla 19.

Tabla 19

Funciones implementadas en el HMI

Función	Descripción
---------	-------------

Visualización de procesos	Gráfico animado con estado de sensores y motor
Control de operación	Botones AUTO, STOP, JOG
Parametrización	Ingreso de velocidad setpoint (0-350 LPM)
Monitoreo	Velocidad actual (LPM), contador de latas, horas de operación
Gestión de alarmas	Visualización de alarmas activas y buffer histórico
Mantenimiento	Registro de eventos para planificación de mantenimiento

Nota: Elementos de control integrados en el HMI del tablero de control o de operaciones.

Elaborado por el autor.

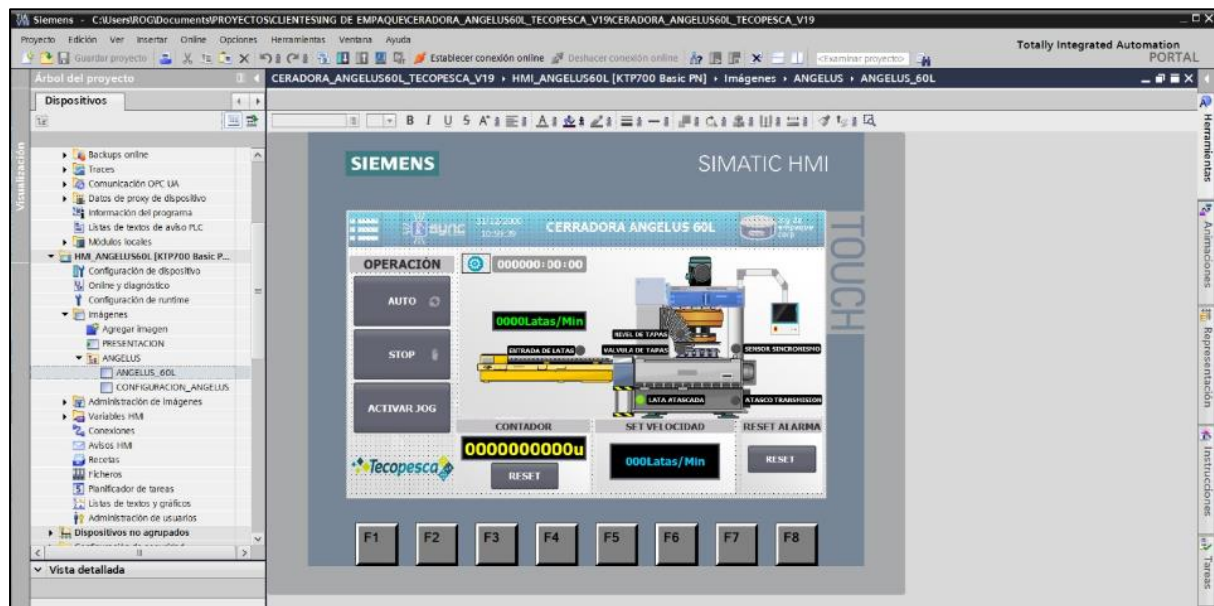
3.1.3. Software

3.1.3.1. Control de la cerrador Angelus 60L desde TIA Portal

El desarrollo del sistema automatizado de la cerradora Angelus 60L utilizó la plataforma de ingeniería TIA Portal que se observa en la **Figura 21** para la programación, configuración y puesta en marcha del PLC Siemens S7-1200 y de los dispositivos asociados al sistema de control, la cual integra en un mismo entorno de trabajo la lógica de automatización, la configuración de señales analógicas y digitales, la comunicación PROFINET y la supervisión mediante la interfaz HMI.

Figura 21

Interfaz de la plataforma TIA Portal



Nota: La integración de componentes lógicos que permitan el control del PLC y los demás componentes garantiza la supervisión en tiempo real de sus variables lógicas. Elaborado por el autor.

TIA Portal facilitó el desarrollo de una arquitectura de control organizada y centralizada, permitiendo parametrizar de manera eficiente los módulos de entrada y salida del PLC, así como el módulo analógico encargado de generar la señal de referencia de velocidad para el variador de frecuencia SINAMICS V20, con esta configuración, el sistema pudo enviar una consigna analógica proporcional para regular dinámicamente la velocidad de operación de la cerradora, mejorando la estabilidad del proceso de sellado y la sincronización de la línea de producción; mediante esta plataforma se ejecutaron las pruebas de diagnóstico monitoreo de variables y validación de señales en tiempo real, reduciendo tiempos de configuración y facilitando las tareas de mantenimiento y ajuste del sistema automatizado.

Programación en lenguaje Ladder

Se configuró una lógica robusta y de fácil interpretación para el personal técnico mediante el lenguaje de programación Ladder Logic (LD), un lenguaje gráfico que con estructuras de secuencias de operación, seguridades y condiciones de funcionamiento del sistema mediante diagramas similares a circuitos eléctricos de escalera, así facilitó la programación de funciones relacionadas con el arranque y paro del sistema, control del variador de frecuencia, activación de alarmas, lectura de sensores inductivos y gestión de seguridades.

Definición de variables

Entre las variables clave de la lógica de control destacan #AUTO_ACTIVO, que habilita el modo automático de la cerradora, y #JOG_ACTIVO, que permite maniobras manuales para ajustes y mantenimiento. Para garantizar la producción y el sincronismo se definieron entradas como #SENSOR_DE_LATAS, #SENSOR_SINCRONISMO y #LATA_PRESENTE, encargadas de confirmar la presencia y el correcto posicionamiento de las latas antes del sellado.

La programación integra señales de seguridad y protección, por ejemplo, #SAFETY_CIRCUIT_E_STOP, #STOP_CONDITION, #SEGURIDAD_PUERTAS_ACTIVO y #SW_TRABAMIENTO_CAJA_TRANSMISION_ACTIVO, variables que vigilan situaciones críticas como paradas de emergencia, apertura de resguardos y obstrucciones mecánicas; el cambio de estado en cualquiera de estas variables provoca respuestas automáticas del PLC, tales como la parada del variador y la emisión de alarmas.

Para el control de velocidad se emplearon tags como #SP_VELOCIDAD_LPM, #VELOCIDAD_NORM y %QW80, que permiten tomar el setpoint introducido desde la HMI

y transformarlo en la señal analógica de salida hacia el variador SINAMICS V20, de este modo, el sistema regula de forma dinámica la velocidad de la cerradora según las demandas de producción.

Lógica de control

La lógica de control desarrollada se diseñó tras un análisis detallado de los sensores, actuadores y elementos de supervisión que conforman el sistema automatizado, definiendo una secuencia lógica que coordina el PLC Siemens S7-1200, el variador SINAMICS V20, los sensores inductivos y la HMI, con el objetivo de asegurar un proceso de sellado robusto y seguro sobre la línea de enlatado presentando cuatro controles principales en la misma:

- **Control de velocidad de la cerradora**

El sistema de control de velocidad se basó en la lectura del setpoint ingresado desde la HMI, expresado en latas por minuto (LPM), valor que fue procesado mediante las instrucciones NORM_X y SCALE_X dentro del PLC, permitiendo generar una señal analógica proporcional enviada al variador de frecuencia SINAMICS V20 para que el motor principal de la cerradora pudiera ajustarse dinámicamente según los requerimientos operativos del proceso.

- **Control de sincronismo y presencia de latas**

Con la incorporación de sensores inductivos destinados a detectar la presencia y sincronización de las latas dentro de la cerradora, variables como #SENSOR_DE_LATAS, #SENSOR_SINCRONISMO y #LATA_PRESENTE permitieron validar el ingreso correcto de los envases antes de ejecutar la secuencia de sellado, cuando el sistema detectaba pérdida de sincronismo o ausencia de lata, el PLC bloqueaba automáticamente determinadas acciones operativas para evitar errores de sellado o daños mecánicos.

- **Control de seguridad y protección**

La programación también integró rutinas de seguridad encargadas de supervisar condiciones críticas del sistema con variables como #SAFETY_CIRCUIT_E_STOP, #SEGURIDAD_PUERTAS_ACTIVO y #SW_TRABAMIENTO_CAJA_TRANSMISION_ACTIVO que han permitido detectar eventos de emergencia, apertura de puertas o atascamientos mecánicos; ante cualquier evento de estas condiciones, el PLC ejecuta acciones automáticas de protección, incluyendo la desactivación del variador de frecuencia, desacople de transmisión y activación de alarmas visuales desde la HMI.

- **Control de alarmas y monitoreo**

Se administra la gestión de alarmas asociadas a fallas de transmisión, atascamiento de latas, fallas del variador y condiciones anormales de operación; las cuales se registran dentro de estructuras de datos del PLC y se visualizan en tiempo real desde la interfaz HMI, facilitando el monitoreo del proceso y mejorando la capacidad de respuesta del operador durante la operación de la cerradora Angelus 60L.

Monitoreo y Visualización

Para esta fase de resultados se emplea la interfaz HMI adaptada al tablero de control y operaciones, que supervisa en tiempo real el comportamiento operativo de la máquina, lo que permite observar variables importantes del proceso, como la velocidad de operación, el estado de los sensores inductivos, las condiciones del motor y la activación de alarmas.

3.1.3.2. Comunicación y comunicación entre el PLC y HMI

La comunicación entre el PLC Siemens S7-1200 y la interfaz HMI implementada para la cerradora Angelus 60L se configuró mediante el protocolo industrial PROFINET, lo que permitió una transferencia de datos rápida y estable entre el sistema de control y el entorno de supervisión; esta integración facilitó el monitoreo en tiempo real de variables importantes del proceso, tales como la velocidad de operación, los estados de los sensores, las alarmas y las condiciones de funcionamiento del motor principal, a través de la HMI fue posible visualizar indicadores gráficos relacionados con la entrada de latas, el sincronismo del sistema, el nivel de tapas y la detección de atascamientos, lo que mejoró la interacción del operador con la máquina; el sistema permitió modificar parámetros operativos, especialmente el setpoint de velocidad expresado en latas por minuto, optimizando el control dinámico de la cerradora.

Otro aspecto relevante fue la implementación de ventanas de alarma y buffers de eventos, que facilitaron el diagnóstico de fallas y el seguimiento histórico de las incidencias durante la operación, la comunicación entre dispositivos también permitió integrar funciones de seguridad, como el paro de emergencia y el control de acceso mediante usuario y contraseña para configuraciones críticas.

Figura 22.

Pantalla principal de operación HMI para la cerradora Angelus 60L.



Nota: La interfaz permite visualizar el estado de operación automática, el paro, la activación de JOG, la velocidad real en latas por minuto, el contador de unidades, el setpoint de velocidad, el nivel de tapas, la válvula de tapas, el sensor de sincronismo, la entrada de latas y las alarmas por atascamiento. Elaborado por el autor.

En la interfaz HMI principal que se muestra en la **Figura 22** se incorporaron controles principales para la gestión de la cerradora Angelus 60L: los botones AUTO, para iniciar el modo automático; STOP, para detener el proceso de forma controlada; y ACTIVAR JOG, para habilitar el movimiento manual durante tareas de ajuste o mantenimiento.

En la parte superior de la interfaz se incluyó un botón con el icono de un engranaje que permite acceder al menú de configuración del sistema; se integraron campos de visualización para registrar las horas de funcionamiento de la máquina y leer la velocidad de operación actual, expresada en latas por minuto.

La pantalla también presenta indicadores visuales tipo LED que permiten identificar el estado de los principales elementos del sistema automatizado, tales como el motor, el sensor de entrada de latas, el sensor de sincronismo, el sensor de nivel de latas, el final de carrera por atascamiento de la cadena de transmisión y el final de carrera por atascamiento de latas. Finalmente, se incorporaron campos de lectura y escritura para ajustar el setpoint de velocidad en LPM, así como un contador de unidades producidas, lo que facilita el seguimiento operativo y la toma de decisiones durante el proceso de sellado.

Figura 23

Interfaz de configuración de la cerradora



Nota: Elaborado por el autor.

En la **Figura 23** se observa la integración de funciones destinadas al ajuste y supervisión de parámetros operativos del sistema automatizado, permitiendo mejorar la interacción entre el operador y la máquina durante las tareas de producción y mantenimiento, se observa un módulo de horómetro encargado de registrar el tiempo acumulado de funcionamiento de la cerradora, facilitando el control de horas operativas y la planificación de mantenimiento preventivo; asimismo, se incorporó una sección de configuración del vibrador, donde es posible modificar

el tiempo de activación del sistema de alimentación de tapas mediante un setpoint configurable desde la HMI; también incluye controles asociados a las puertas de seguridad de la máquina, permitiendo supervisar condiciones relacionadas con el acceso en las zonas de entrada de latas/tapas y descarga.

Figura 24

Configuración de velocidad de la cerradora



Nota: En esta interfaz se configura el set point correspondiente al máximo de latas por minuto que se procesan (máximo de 390). Elaborado por el autor.

Se implementó una ventana de ingreso de datos en la interfaz HMI que configure el setpoint de velocidad de la cerradora para ajustar la velocidad de operación del sistema, en formato de latas por minuto, donde se puede establecer 390 LPM (latas por minuto), como se observa en la **Figura 24**.

3.2. Comunicación del sistema de automatización

3.2.1 Entradas y salidas

Figura 25

Variables de entrada y salida en el PLC

The screenshot displays the 'Variables PLC' table in the Siemens TIA Portal. The table lists 25 variables, each with a name, data type, direction, and various configuration flags. The variables are organized into a table with the following columns: 'Nombre', 'Tabla de variables...', 'Tipo de datos', 'Dirección', 'Renom...', 'Acceso...', 'Escrib...', 'Visib...', and 'Comentario'.

Nombre	Tabla de variables...	Tipo de datos	Dirección	Renom...	Acceso...	Escrib...	Visib...	Comentario
1	Clock_Byte	Tabla de variables...	Byte	%M0				
2	Clock_10Hz	Tabla de variables...	Bool	%M0.0				
3	Clock_5Hz	Tabla de variables...	Bool	%M0.1				
4	Clock_2.5Hz	Tabla de variables...	Bool	%M0.2				
5	Clock_1Hz	Tabla de variables...	Bool	%M0.3				
6	Clock_0.5Hz	Tabla de variables...	Bool	%M0.4				
7	Clock_0.25Hz	Tabla de variables...	Bool	%M0.5				
8	Clock_0.125Hz	Tabla de variables...	Bool	%M0.6				
9	Clock_0.0625Hz	Tabla de variables...	Bool	%M0.7				
10	System_Byte	Tabla de variables...	Byte	%M0.8				
11	FirstScan	Tabla de variables...	Bool	%M0.9				
12	DiagnosisUpdate	Tabla de variables...	Bool	%M1.0				
13	AlwaysTrue	Tabla de variables...	Bool	%M1.1				
14	AlwaysFalse	Tabla de variables...	Bool	%M1.2				
15	SEN SINCRONISMO	Tabla de variables...	Bool	%I0.0				
16	ALARM_CLOCK_1Hz	Tabla de variables...	Bool	%M1.0.0				
17	PRESTATO GRASA	Tabla de variables...	Bool	%I1.7				
18	RESET LUBRICACION	Tabla de variables...	Bool	%I1.6				
19	SEGURIDAD PUERTA #2	Tabla de variables...	Bool	%I1.5				
20	BOMBA DE GRASA	Tabla de variables...	Bool	%Q1.2				
21	INDICADOR FALLA LUBR.	Tabla de variables...	Bool	%Q1.3				
22	CIRCUITO DE PANDOS DE ENERG.	Tabla de variables...	Bool	%I0.1				
23	SEGURIDAD PUERTA DE SELLAD.	Tabla de variables...	Bool	%I1.3				
24	SEGURIDAD PUERTA DE DESCAL.	Tabla de variables...	Bool	%I1.4				
25	VDF EN FALLA	Tabla de variables...	Bool	%I0.0				
26	PANDOS	Tabla de variables...	Bool	%I0.3				
27	RUN	Tabla de variables...	Bool	%I0.2				
28	JOG	Tabla de variables...	Bool	%I0.4				
29	SEN BAJA CANTIDAD TAPAS	Tabla de variables...	Bool	%I1.0				
30	SEN ENTRADA DE LATAS	Tabla de variables...	Bool	%I1.1				
31	SEN ATASCAMIENTO DE LATAS	Tabla de variables...	Bool	%I0.6				
32	SW ATASCAMIENTO DE TRANS...	Tabla de variables...	Bool	%I1.2				
33	BOBINA DE TRANSMISION	Tabla de variables...	Bool	%Q0.3				
34	VALVULA DE TAPAS	Tabla de variables...	Bool	%Q0.2				
35	VIBRADOR	Tabla de variables...	Bool	%Q0.4				
36	VDF ATASC.	Tabla de variables...	Bool	%Q0.0				

Nota: Se definen las variables necesarias para el funcionamiento del sistema automatizado.

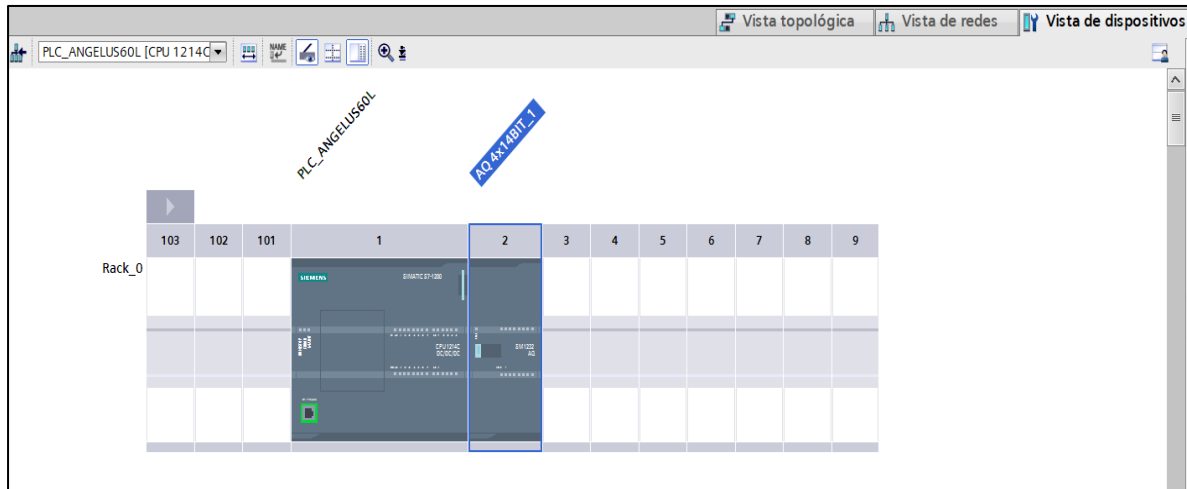
Elaborado por el autor.

La **Figura 25** corresponde a la configuración de variables del sistema automatizado, se visualizan las principales señales digitales y analógicas utilizadas en el proceso de control, incluyendo variables relacionadas con marcha automática, paro de emergencia, velocidad en latas por minuto (LPM), sensores de sincronismo, nivel de tapas, atascamiento de latas y activación del vibrador.

3.2.2. Control Analógico

Figura 26

Módulo analógico controlador del variador.



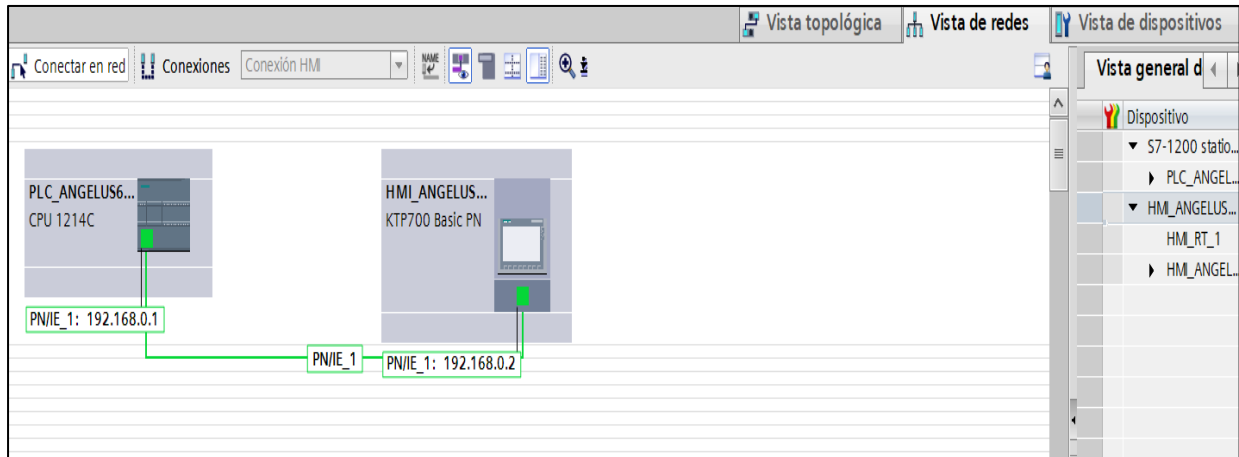
Nota: Arquitectura física del PLC Siemens S7-1200 implementado en el proyecto, específicamente la CPU principal y el módulo de expansión analógica integrado en el rack de control. Elaborado por el autor.

La CPU que se observa en la **Figura 26** corresponde al controlador encargado de procesar la lógica de automatización de la cerradora, administrar las señales provenientes de los sensores y ejecutar las secuencias operativas del sistema. Junto a ella se visualiza un módulo analógico AQ 4x13 bit, utilizado para generar señales analógicas de salida hacia el variador de frecuencia SINAMICS V20, permitiendo regular la velocidad de operación de la cerradora en función del setpoint configurado desde la HMI

3.2.3. Comunicación IP

Figura 27

Comunicación Ip entre PLC y HMI



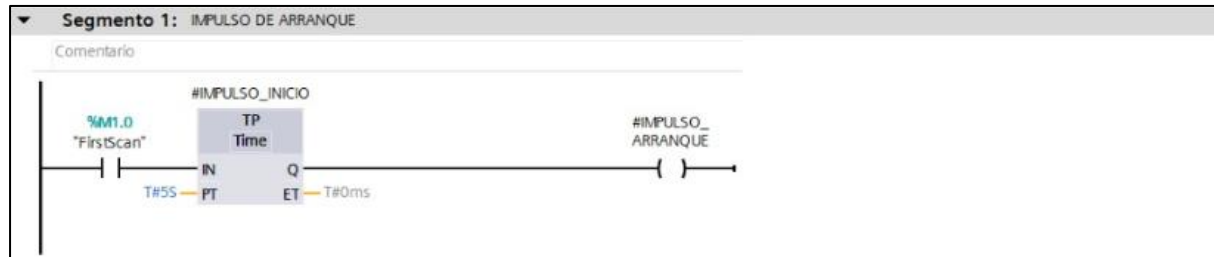
Nota: Elaborado por el autor

Mediante la comunicación de red PROFINET, la **Figura 27** muestra la configuración IP para la comunicación industrial entre el PLC y el HMI, utilizando la interfaz PN/IE_1, que permite el intercambio de datos en tiempo real; el PLC se ha configurado con la dirección IP 192.168.0.1; actuando como controlador principal del proceso, encargándose de procesar señales de sensores, gestionar alarmas y controlar la operación de la cerradora. Por su parte, la HMI KTP700 Basic, configurada con la dirección IP 192.168.0.2, funciona como interfaz de supervisión y operación, permitiendo visualizar variables del proceso, modificar parámetros y monitorear el estado de la máquina.

3.2.4. Programación LADDER

Figura 28

Arranque del equipo

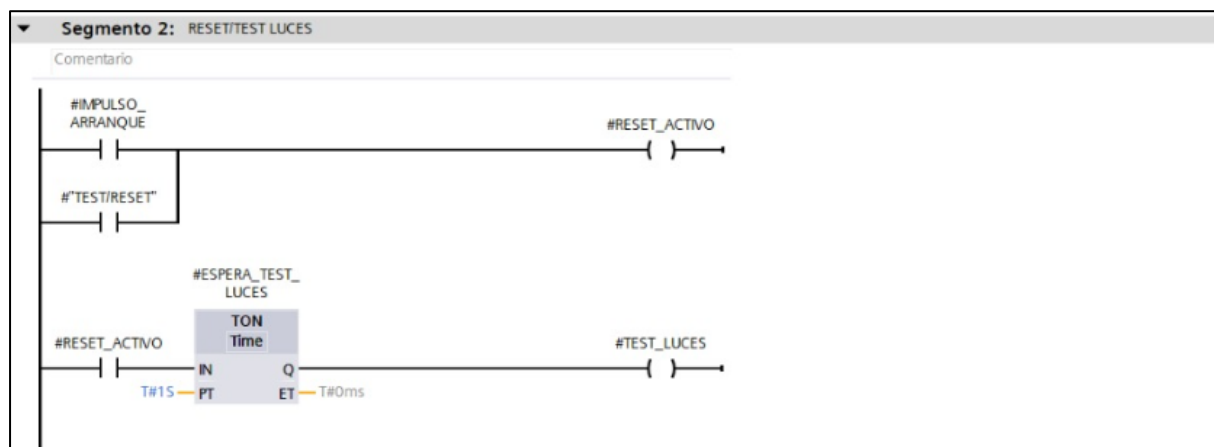


Nota: impulso de arranque mediante la marca de primer ciclo. Elaborado por el autor.

La **Figura 28** representa el segmento 1, que genera un impulso de arranque mediante la marca de primer ciclo FirstScan y activa un temporizador de tipo pulso TP durante un breve intervalo. Esta condición permite inicializar señales internas del sistema al energizar el PLC, evitando estados indefinidos al inicio de operación.

Figura 29

Configuración de señales



Nota: Validación visual del estado de señalización antes de la operación normal de la cerradora.

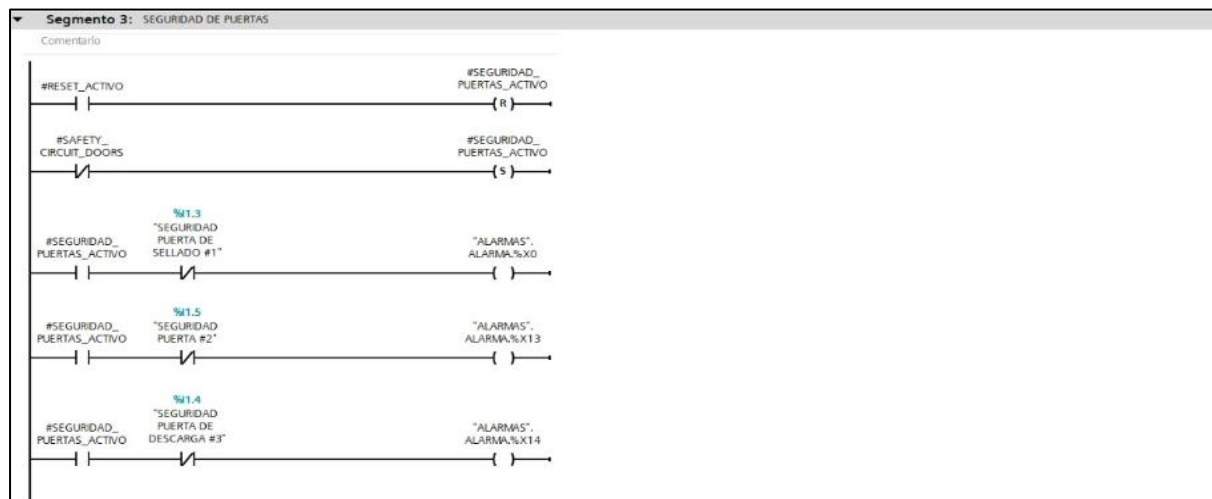
Elaborado por el autor.

El segmento dos de la **Figura 29** representa el impulso de arranque activado por la señal RESET_ACTIVO, la cual también puede ser habilitada mediante la condición TEST/RESET.

Posteriormente, un temporizador TON genera la señal TEST_LUCES, que se utiliza para verificar o activar los indicadores del sistema durante un intervalo controlado.

Figura 30

Seguridad de puertas

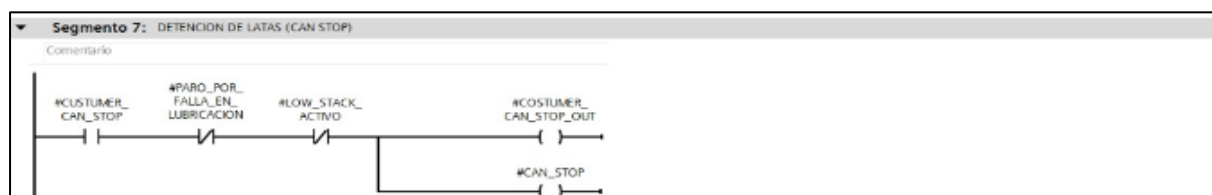


Nota: Supervisar continuamente el estado de las puertas de acceso. Elaborado por el autor.

La programación expuesta en la **Figura 30** supervisa el estado de las puertas de acceso mediante sensores de seguridad y genera alarmas automáticas cuando alguna puerta se encuentra abierta o en una condición anormal.

Figura 31

Detención de latas



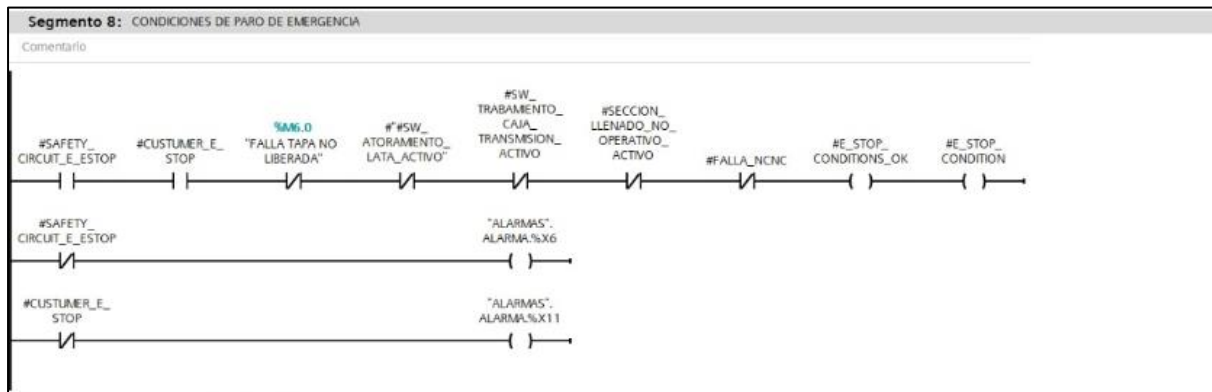
Nota: control de atascamiento. Elaborado por el autor.

En la **Figura 31**, la programación supervisa condiciones relacionadas con acumulación de envases, fallas de lubricación y nivel de carga en el sistema, cuando se detecta una condición anormal, el PLC activa la señal `#CAN_STOP`, permitiendo detener el proceso de forma

controlada y evitando daños mecánicos, pérdidas de producción o afectaciones en el sellado de las latas.

Figura 32

Paro de emergencia

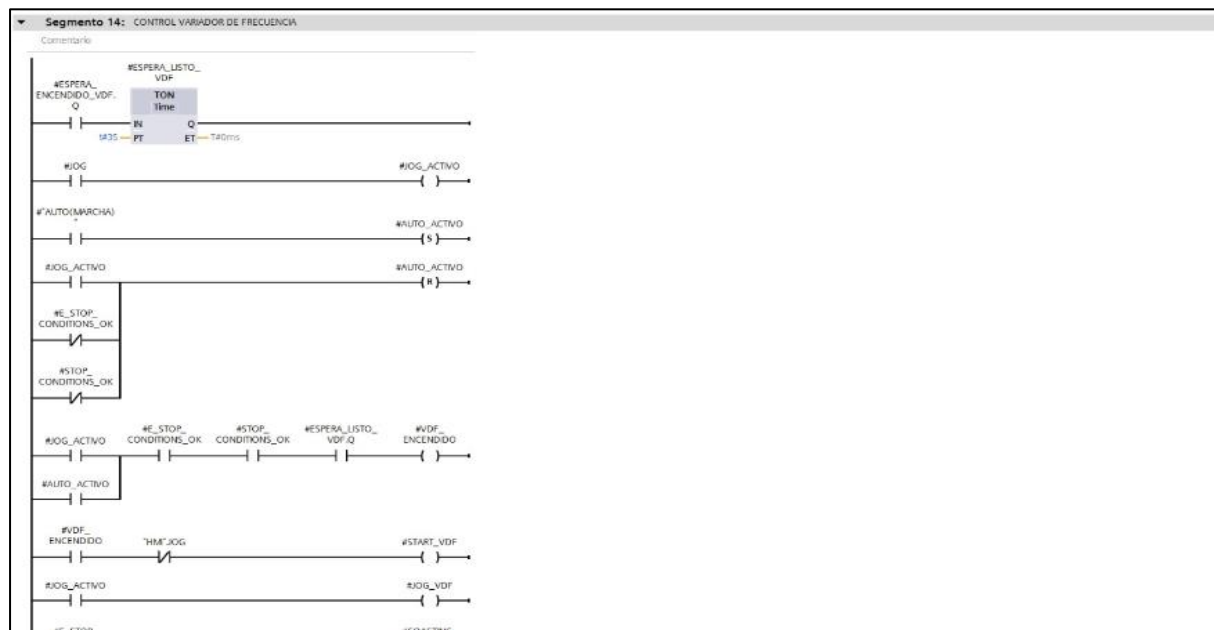


Elaborado por el autor.

La lógica que se evalúa en la **Figura 32** incluye variables relacionadas con el circuito de emergencia (`#SAFETY_CIRCUIT_E_STOP`), el pulsador de paro de emergencia del operador (`#CUSTOMER_E_STOP`), fallas de lubricación, atascamiento de latas, el estado de la caja de transmisión y las condiciones operativas de la sección de llenado. Si alguna de estas señales presenta una condición anormal, la variable `#STOP_CONDITION` se activa automáticamente, provocando la detención inmediata de la cerradora; el programa genera alarmas específicas almacenadas dentro de la estructura `ALARMAS`, permitiendo visualizar desde la HMI el origen exacto del evento de emergencia.

Figura 33

Control variador de frecuencia



Elaborado por el autor.

Esta lógica representa las condiciones de arranque, operación automática y funcionamiento en modo JOG del sistema, lo que permite controlar de forma segura la activación del variador SINAMICS V20.

En la **Figura 33** se configura un temporizador de espera para garantizar que el variador esté listo antes de habilitar el arranque del sistema, luego, se gestionan las señales de operación manual (JOG) y operación automática (AUTO), utilizando instrucciones de activación y desactivación mediante bobinas tipo SET y RESET, y se verifican continuamente las condiciones de paro y seguridad antes de energizar la señal #VDF_ENCENDIDO, encargada de habilitar el funcionamiento del variador de frecuencia.

Figura 34

Control de velocidad



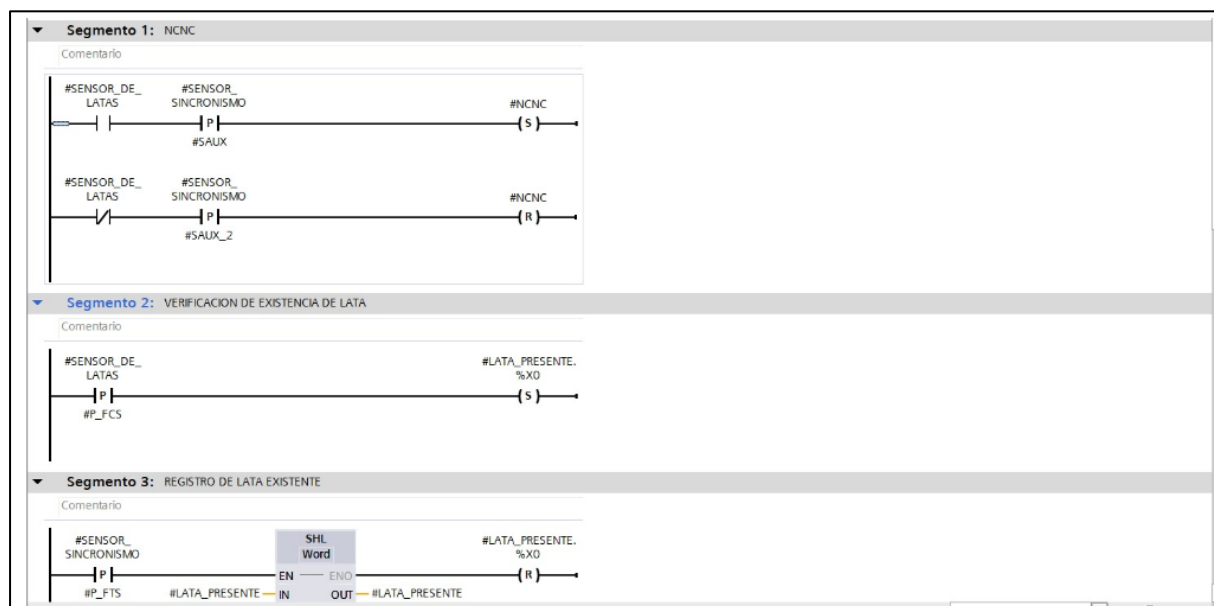
Elaborado por el autor.

La programación señalada en la **Figura 34** define el control de velocidad mediante las instrucciones **NORM_X** y **SCALE_X**, encargadas de normalizar y escalar el setpoint de velocidad ingresado desde la HMI.

Inicialmente, el bloque **NORM_X** convierte el valor de velocidad configurado en latas por minuto (LPM) a un valor normalizado entre 0 y 1, lo que permite aplicar un tratamiento proporcional de la señal en el PLC, luego el bloque **SCALE_X** transforma este valor normalizado a una señal analógica de salida con rango de 0 a 27648 unidades digitales, correspondiente al estándar analógico utilizado por el módulo de salida del PLC; esta señal es enviada a la dirección **%QW80**, asociada al variador de frecuencia **SINAMICS V20**, permitiendo regular de forma dinámica la velocidad del motor principal de la cerradora.

Figura 35

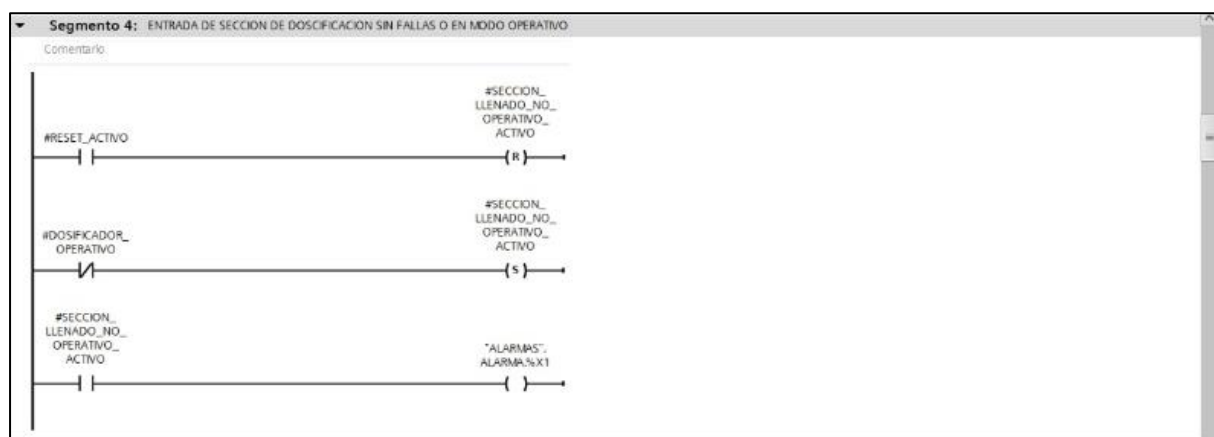
Verificación y registro de existencia de latas



Nota: Elaborado por el autor.

Figura 36

Entrada de sección de dosificación sin fallas o en modo operativo



Nota: Elaborado por el autor.

La lógica de la **Figura 36** supervisa el estado del dosificador mediante la variable `#DOSIFICADOR_OPERATIVO`, si se identifica una situación anormal o falta de disponibilidad en el sistema de alimentación de tapas, el PLC activa la variable

#SECCION_LLENADO_NO_OPERATIVO_ACTIVADO, lo que genera una alarma que se guarda en la estructura ALARMAS; estrategia que facilitó la detección temprana de fallas en el suministro de tapas, lo que evitó paradas en el proceso de sellado y disminuyó los riesgos de producir productos defectuosos.

variador (#VDF_READY), evitando activaciones erróneas causadas por perturbaciones transitorias o fluctuaciones temporales durante la operación, finalmente, la programación genera alarmas específicas que se almacenan en la estructura ALARMAS, asociadas a eventos de protección térmica y fallas del módulo de potencia; tales que se detallan en la **Tabla 20**.

Tabla 20

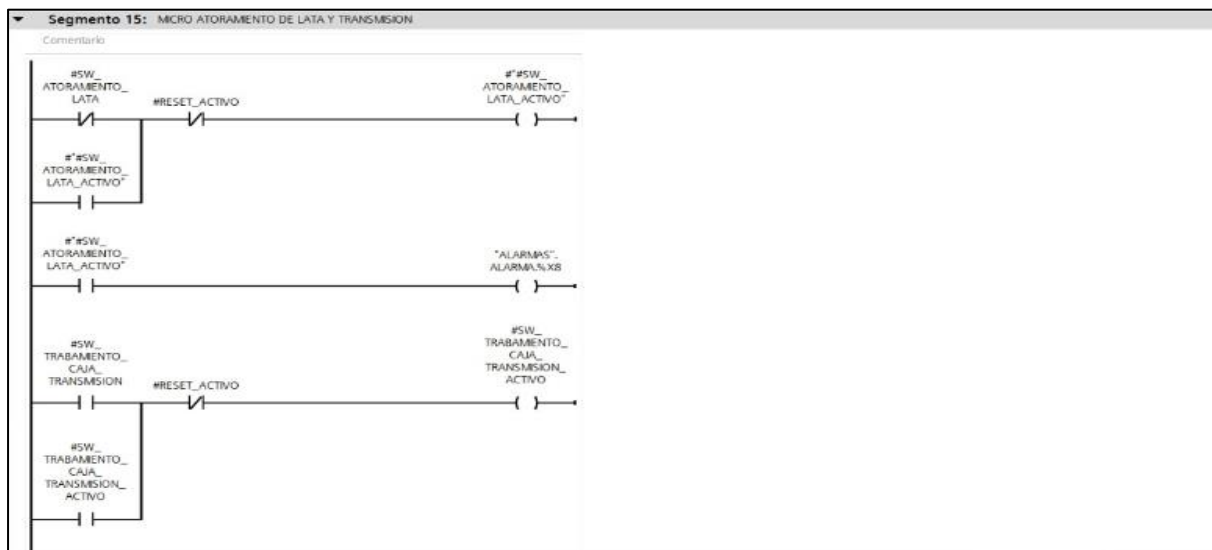
Alarmas del sistema

Código / Variable de alarma	Condición que genera la alarma	Acción ejecutada por el PLC Siemens S7-1200	Objetivo de protección
ALARMA_X0	SEGURIDAD DE PUERTA DE DESCARGA ACTIVO	Detiene la operación y bloquea la secuencia automática hasta restablecer la condición segura.	Proteger al operador durante labores de inspección o mantenimiento.
ALARMA_X13	SEGURIDAD DE PUERTA DE BANDA ACTIVO	Inhibe el funcionamiento de la cerradora y genera aviso en la HMI.	Evitar riesgos durante la operación del equipo.
ALARMA_X14	SEGURIDAD DE PUERTA ENTRADA DE LATAS Y TAPAS ACTIVO	Suspende el proceso de sellado hasta el cierre de la puerta.	Garantizar la seguridad del personal y la integridad del proceso.
ALARMA_X2	PROTECCION EN ENTRADA DE VARIADOR NO ACTIVO	Desactiva el accionamiento del motor principal y registra la condición de falla.	Proteger el variador y el motor frente a sobrecargas o sobrecalentamiento.
ALARMA_X3	SOBRETENPERATURA DE MOTOR PRINCIPAL	Detiene el proceso y mantiene el equipo en estado seguro hasta el diagnóstico correspondiente.	Evitar daños eléctricos en el sistema de accionamiento.
ALARMA_X6	PARO DE EMERGENCIA ACTIVO	Desenergiza la transmisión y ejecuta la parada inmediata de la cerradora.	Salvaguardar la integridad del personal y del equipo.

ALARMA_X11	PARO DE EMERGENCIA EXTERNO ACTIVO	Interrumpe la operación automática y notifica el evento en la interfaz HMI.	Garantizar la coordinación con otros sistemas de la línea de producción.
ALARMA_X1	SECCION DE LLENADO NO OPERATIVO	Inhibe el proceso de sellado hasta corregir la anomalía.	Evitar operaciones sin suministro adecuado de tapas.
ALARMA_X8	ATASCO DE LATA EN SELLADO	Detiene la máquina y activa el protocolo de protección mecánica.	Prevenir deformaciones de envases y daños en el mecanismo de sellado.
ALARMA_X9	TRABAMIENTO EN CAJA DE TRANSMISION	Activa el desacople del embrague de transmisión y genera la alarma correspondiente.	Proteger los componentes mecánicos frente a esfuerzos excesivos.
ALARMA_X12	TAPA NO LIBERADA	Bloquea la secuencia de sellado hasta recuperar la sincronización.	Evitar sellados defectuosos y pérdidas de producción.
ALARMA_X7	BAJA CANTIDAD DE TAPAS	Impide el inicio del ciclo de cierre y mantiene el sistema en espera.	Evitar operaciones en vacío y proteger el cabezal de cierre.

Nota: Descripción de cada una de las alarmas del sistema. Elaborado por el autor.

Figura 38 Microswitch de lata de transmisión

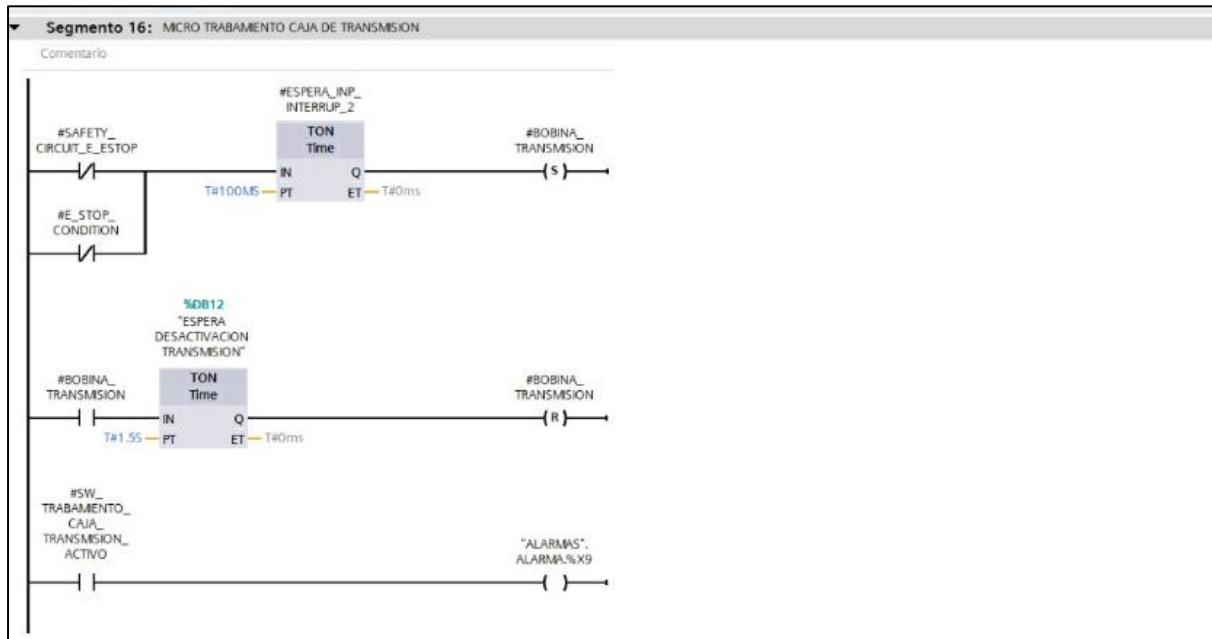


Nota: Elaborado por el autor.

La primera parte de la lógica establecida en la **Figura 38** se encarga de cuidar la presencia de atascos en las latas mediante la variable `#SW_ATORAMIENTO_LATA`, cuando se identifica esta condición, se activa la señal `#SW_ATORAMIENTO_LATA_ACTIVO` y ésta permanece activa hasta que se produce una condición de reinicio (`#RESET_ACTIVO`). Simultáneamente, el autómatas programa una alarma que queda registrada en la estructura `ALARMAS`, con el fin de notificar al operador sobre la existencia de obstrucciones en la circulación de envases, de forma análoga, la segunda sección corresponde al control del atascamiento en la caja de transmisión, monitorizado a través de la variable `#SW_TRABAMIENTO_CAJA_TRANSMISION`; si se detecta una falla mecánica, se activa la señal `#SW_TRABAMIENTO_CAJA_TRANSMISION_ACTIVO` y el suceso se mantiene hasta que el sistema recibe el restablecimiento.

Figura 39:

Control de desacople y protección de la transmisión mecánica.



.Nota: Elaborado por el autor.

En la primera etapa de la secuencia mostrada en la **Figura 39**, la programación supervisa continuamente el estado del circuito de emergencia (`#SAFETY_CIRCUIT_E_STOP`) y las condiciones generales de paro (`#E_STOP_CONDITION`), cuando alguna de estas variables se activa, el temporizador TON denominado `#ESPERA_INP_INTERRUP_2` ejecuta un retardo controlado de 100 ms, tras el cual se energiza la variable `#BOBINA_TRANSMISION`; esta acción permite desacoplar mecánicamente la transmisión de la cerradora, evitando esfuerzos excesivos sobre los componentes móviles; luego, se implementa una segunda temporización (`#ESPERA_DESACTIVACION_TRANSMISION`) con una duración de 1,5 segundos, encargada de desactivar la bobina de transmisión una vez finalizada la maniobra de protección. Esta estrategia evita activaciones permanentes y garantiza una secuencia controlada durante el restablecimiento del sistema; la lógica incorpora el monitoreo de la variable `#SW_TRABAMIENTO_CAJA_TRANSMISION_ACTIVADO`, asociada a eventos de bloqueo

mecánico de la caja de transmisión y ante la detección de esta condición, el PLC genera una alarma registrada dentro de la estructura ALARMAS.

3.3. Ejecución de pruebas del sistema

Terminada la programación y la validación inicial del sistema de control en el PLC Siemens S7-1200, en la fase de integración y verificación funcional de la cerradora Angelus 60L, se confirmó la correcta instalación y parametrización del entorno de ingeniería TIA Portal, comprobando la comunicación establecida entre el PLC, la HMI KTP700 Basic y el variador SINAMICS V20 incluido en el proyecto.

A continuación, se definió la arquitectura de dispositivos dentro de TIA Portal, incorporando el controlador, la interfaz HMI, los módulos de expansión y las variables de proceso vinculadas al sistema; durante esta etapa se implementó la lógica de control, integrando entradas de sensores inductivos, estados de operación, alarmas, condiciones de seguridad y las variables de velocidad requeridas para el ciclo de sellado.

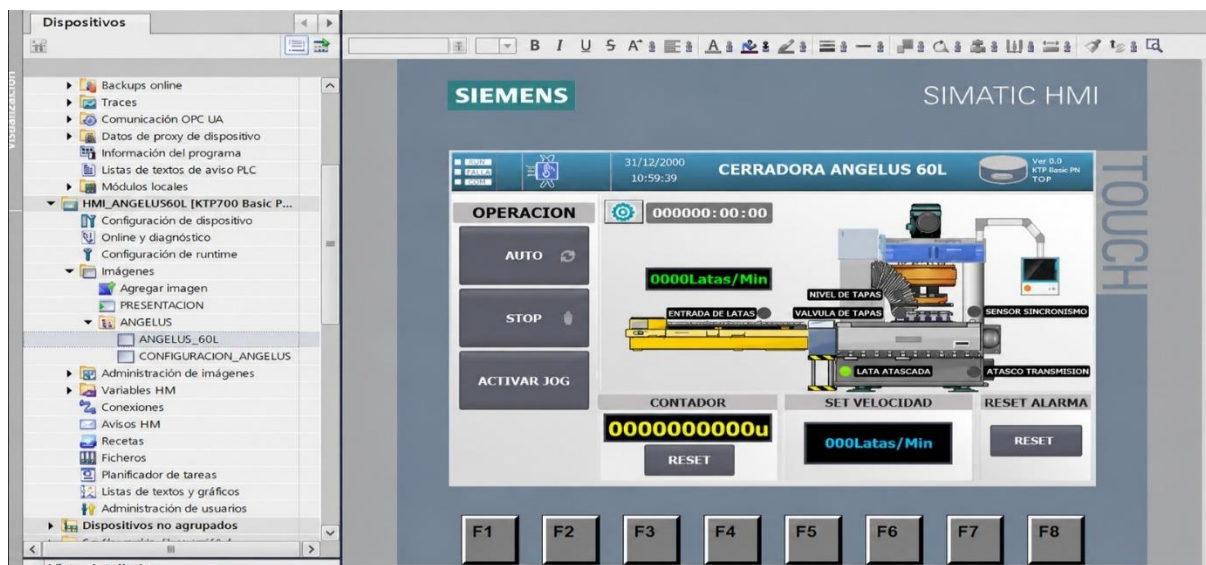
Con la programación finalizada, se llevaron a cabo pruebas funcionales y simulaciones para comprobar el comportamiento del conjunto; el HMI permitió la supervisión en tiempo real de parámetros como la velocidad de operación en latas por minuto, el estado de los sensores, las alarmas por atascos, el nivel de tapas y las condiciones de la cerradora.

Estas verificaciones confirmaron la correcta actualización de variables entre PLC y HMI, asegurando la estabilidad de la comunicación y la coherencia de la información transmitida; también, se efectuaron ensayos en condiciones operativas críticas, recreando situaciones como atascos de latas, fallos en la transmisión, aperturas de puertas de seguridad y activaciones de parada de emergencia.

Los resultados fueron evaluados según los criterios operativos establecidos, y las anomalías detectadas durante las pruebas se registraron y corrigieron mediante ajustes en el programa, la optimización de las secuencias de control y el fine-tuning de los parámetros del sistema.

Figura 40

Interfaz de ejecución y puesta en marcha

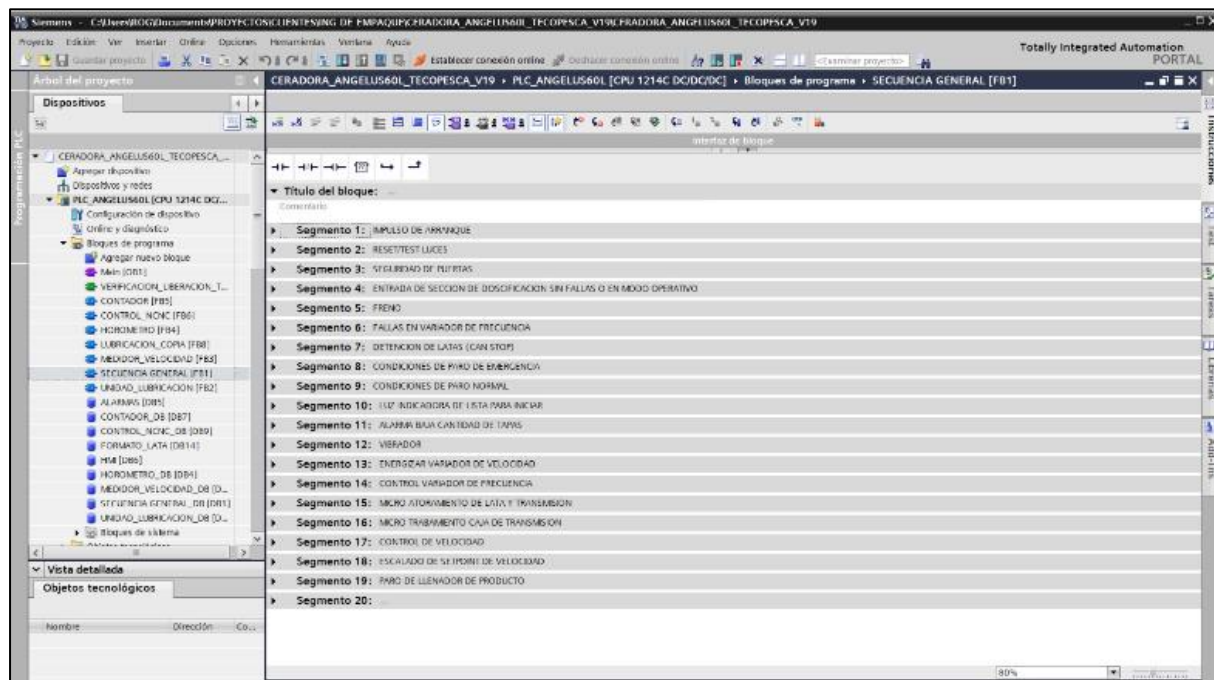


Nota: Elaborado por el autor.

La **Figura 40** representa la etapa de pruebas y validación de la pantalla principal de operación desarrollada para la cerradora en el entorno TIA Portal, su construcción ha permitido verificar el correcto funcionamiento de los controles de marcha automática, parada, modo JOG, ajuste de velocidad, contador de producción e indicadores de estado asociados a sensores y alarmas del sistema.

Figura 41

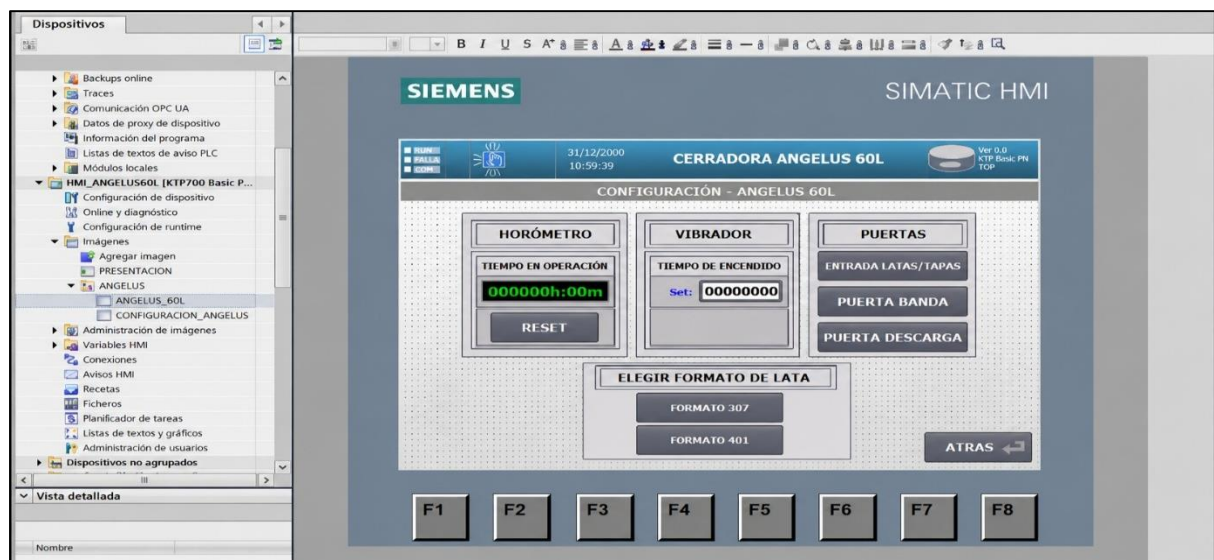
Ejecución de programación en lenguaje Ladder.



Nota: Elaborado por el autor.

Figura 42

Tiempos de ejecución de elementos de la cerradora.



Nota: Elaborado por el autor.

En la **Figura 42** se muestra el diseño de verificación sobre la correcta operación de parámetros asociados al horómetro de funcionamiento, temporización del vibrador, supervisión de puertas de seguridad y selección de formatos de lata utilizados en el proceso de producción; también, se comprobó el intercambio de datos entre la HMI y el PLC Siemens S7-1200, validando la escritura y lectura de variables de configuración en tiempo real.

CAPÍTULO 4. DISCUCIÓN

- Los resultados de este estudio muestran que la adopción de una solución de automatización basada en PLC Siemens S7-1200, HMI KTP700 Basic y variador SINAMICS V20 mejoró notablemente las condiciones operativas de la cerradora Angelus 60L; la incorporación de sensores inductivos, esquemas de seguridad, monitoreo de alarmas y control de velocidad amplió la capacidad de supervisión del proceso, agilizó la respuesta ante fallos y aumentó la fiabilidad operativa de la línea de enlatado.
- En la cerradora Angelus 60L, la comunicación PROFINET posibilitó la supervisión continua de variables críticas y la modificación dinámica de parámetros, incrementando la flexibilidad frente a distintos formatos de producción, resultados se alinean con estudios sobre la modernización de maquinaria mediante arquitecturas de automatización propias de la Industria 4.0, comprobando que este tipo de comunicación PROFINET entre PLC y HMI mejoró la interoperabilidad del sistema y habilitó la toma de decisiones basada en datos operativos.
- En cuanto al control de velocidad, la utilización de bloques NORM_X y SCALE_X para el tratamiento de señales analógicas permitió transformar el setpoint ingresado desde la HMI en una salida proporcional hacia el variador SINAMICS V20, estrategia que reguló la velocidad en latas por minuto (LPM), logrando una operación más estable de la cerradora y una sincronización mejorada entre las etapas del proceso de sellado.
- Un aporte relevante del trabajo fue la integración de rutinas automáticas de seguridad que, a diferencia de sistemas convencionales dependientes en su mayoría del operador, detectan automáticamente atascos de latas, bloqueos de transmisión, aperturas de resguardos y fallos del variador, generando alarmas en tiempo real desencadenando respuestas

correctivas inmediatas, lo que reduce el riesgo de daños mecánicos y mejora la protección del personal.

CONCLUSIONES

El análisis de las variables involucradas en el proceso de sellado asociadas a sensores inductivos, finales de carrera y lógica programada en el PLC Siemens S7-1200 permitieron identificar que la velocidad de producción, la sincronización de las latas, la alimentación de tapas, la detección de atascamientos, el estado del variador de frecuencia y los dispositivos de seguridad constituyen parámetros de mayor influencia sobre el funcionamiento de la cerradora Angelus 60L estableciendo una secuencia de operación más estable, con el fin de reducir intervenciones manuales y mejorando la capacidad de supervisión del proceso.

La conexión entre el PLC Siemens S7-1200 y la HMI KTP700 Basic, a través del protocolo PROFINET, estableció un enlace de comunicación estable y eficiente para el intercambio de información en tiempo real y durante las pruebas, la actualización de variables se situó cerca de los 10 ms, lo que permitió observar de inmediato el estado de sensores, alarmas, la velocidad de producción y otros parámetros operativos.

La programación implementada en lenguaje Ladder permitió establecer estrategias de control orientadas a la regulación automática de la velocidad de producción, mediante el tratamiento de señales analógicas a través de las funciones NORM_X y SCALE_X; de igual manera, la integración del módulo analógico SB1232 AQ posibilitó la generación de una señal de referencia de 0 a 10 V hacia el variador de frecuencia SINAMICS V20, lo que permitió una regulación continua de la velocidad del motor principal en función del setpoint configurado desde la HMI.

Las rutinas de protección incorporadas en la lógica de control mostraron un desempeño satisfactorio durante las pruebas de validación de manera que la detección automática de eventos como atascos de latas, bloqueo de la transmisión, apertura de puertas de seguridad,

activación del paro de emergencia y fallas en el variador facilitó la ejecución de acciones correctivas inmediatas como: desenergización de la transmisión, detención del motor principal y generación de alarmas visuales en la HMI. Estas medidas reforzaron la confiabilidad del sistema automatizado y mejoraron las condiciones de seguridad operacional tanto del equipo como del personal encargado de su manejo.

La validación del sistema confirmó la correcta interacción entre los componentes eléctricos, electrónicos y neumáticos de la propuesta; con la integración del PLC Siemens S7-1200, el variador SINAMICS V20, los sensores IFM IGS290, la HMI KTP700 Basic y los demás elementos se dio lugar a una solución funcional para la cerradora Angelus 60L, técnicamente viable para su modernización y con proyección a futuras aplicaciones de monitoreo y mantenimiento predictivo.

RECOMENDACIONES

Se deben fortalecer las competencias técnicas del personal operativo y de mantenimiento mediante programas de formación continua orientados al manejo de sistemas de automatización industrial, contemplando aspectos relacionados con la interpretación de variables de proceso, gestión de alarmas, operación de la interfaz HMI y procedimientos de diagnóstico, con el fin de garantizar una utilización eficiente y segura de la infraestructura tecnológica implementada.

Hay que integrar estrategias de mantenimiento preventivo para los elementos que conforman la arquitectura de control, incluyendo el PLC Siemens S7-1200, el variador de frecuencia SINAMICS V20, los sensores de campo y los dispositivos de seguridad; las inspecciones periódicas minimizan el riesgo de fallas inesperadas y permiten preservar la confiabilidad operativa del sistema a largo plazo.

Se recomienda incorporar mecanismos de almacenamiento histórico y análisis de datos operativos que permitan registrar variables de producción, eventos de alarma y tiempos de intervención, acceso oportuno a la información facilitará la generación de indicadores de desempeño, la identificación de patrones de comportamiento y el desarrollo de estrategias orientadas a la mejora continua de los procesos productivos.

Como línea de trabajo futura, se propone evaluar la integración de tecnologías asociadas a la transformación digital industrial, tales como sistemas SCADA, plataformas de monitoreo remoto, análisis predictivo y herramientas de gestión de activos; esto permitiría ampliar las capacidades de supervisión y optimizar la toma de decisiones.

REFERENCIAS

- Astrom, k., & Murray, R. (2021). Feedback Systems:An Introduction for Scientists and Engineers. Estados Unidos.
<https://people.duke.edu/~hpgavin/SystemID/References/Astrom-Feedback-2006.pdf>
- Abbas, A., Hayat, A., Wang, X., Muhammad, T., Ur, M., & Tauqeer, A. (2025). Design and Implementation of PLC-Based Automated Vegetable Cutting System for Enhanced Food Processing Efficiency. China.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/11424134/authors>
- Asteam Techno Solutions. (2026). 6AV2123-2GA03-0AX0 | SIMATIC HMI KTP700. India.
<https://www.asteamtechno.com/products/siemens/6av2123-2ga03-0ax0/>
- Automation24. (2025). Variable frequency drive Siemens SINAMICS V20 - 6SL3210-5BB22-2AV0. Ukrania. <https://www.automation24.co.uk/variable-frequency-drive-siemens-sinamics-v20-6sl3210-5bb22-2av0>
- Cangás, D. (2020). Diseño e implementación de un módulo didáctico para la programación y simulación de procesos de un controlador lógico programable. Ibarra, Ecuador.
<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4865/1/05%20FECYT%202414%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Damián, G., Mayhua, J., Inga, J., Larrea, C., & Callirgos, D. (29 de junio de 2025). Industria 4.0 y su relación con la automatización en la industria Alimentaria: Una revisión sistemática y bibliométrica. Perú.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2414-10462025000200229

- Damián, G., Mayhua, J., Inga, J., Larrea, C., & Vallirgos, D. (junio de 2025). Industria 4.0 y su relación con la automatización en la industria Alimentaria: Una revisión sistemática y bibliométrica. Perú.
https://www.researchgate.net/publication/393681693_Industria_40_y_su_relacion_con_la_automatizacion_en_la_industria_Alimentaria_Una_revision_sistematica_y_bibliometrica
- Delgado, M., Arteaga, Á., & Rodríguez, P. (12 de diciembre de 2023). Mantenimiento Preventivo en empresas conserveras de atún: desempeño e influencia en la sostenibilidad. La Habana, Cuba.
<https://www.redalyc.org/journal/2251/225180438001/225180438001.pdf>
- Dordal. (9 de abril de 2025). Automatización en la industria alimentaria con las líneas de elaboración de productos. España. <https://dordal.com/es/noticias/automatizacion-en-la-industria-alimentaria-con-las-lineas-de-elaboracion-de-productos.html>
- Fanser. (28 de abril de 2022). Detalles de interés sobre las cerradoras de latas y su funcionamiento. España. <https://fanser.com/funcionamiento-cerradoras-de-latas/>
- FAO. (2023). The State of World Fisheries and Aquaculture 2023. Italia.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a2090042-8cda-4f35-9881-16f6302ce757/content>
- FAO. (28 de octubre de 2025). Food and diet statistics: Global dietary data update. Italia.
<https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/food-and-diet-statistics-on-dietary-data/en>
- Ferrum. (2024). Máquinas cerradoras de latas para perfeccionistas. Suiza.
<https://ferrum.net/es/products/can-seamers/>

- Florin, A., & Fodor, A. (9 de octubre de 2025). Design and Implementation of an Inductive Proximity Sensor with Embedded Systems. Rumanía. https://www.mdpi.com/1424-8220/25/19/6258?utm_source=chatgpt.com
- Gaitech. (31 de julio de 2024). España. <https://www.gaitech.com/blog/procesado-atun-conserva-maquinaria/>
- Gaitech. (30 de marzo de 2026). Tratamiento de la Materia Prima en Líneas de Atún: Maquinaria para la Recepción y Primeras Fases. España. <https://www.gaitech.com/blog/tratamiento-materia-prima-lineas-atun-maquinaria-recepcion-y-primeras-fases/>
- Global Industry Analysts. (2024). Food processing automation market report. Estados Unidos. <https://acumen.biz/market-report-food-processing-automation-forecasts-marketglass-inc.asp>
- Habib, K., Shafi, S., Sakib, N., Bin, F., & Azam, M. (diciembre de 2025). Canning process of hilsa shad (*Tenualosa ilisha*) in Bangladeshi style mustard curry medium: assessment of thermal sterilization and shelf-life evaluation. Bangladesh. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502225005359?utm_source=chatgpt.com
- Hanifah, U., Novrinaldi, Taufan, A., Andika, S., Hasani, Y., & Ardiansyah, M. (febrero de 2024). Seaming quality evaluation of a double can seamer for ciplukan (*Physalis angulata* L.) juice drinks. Indonesia. <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2957/1/050024/3262098/Seaming-quality-evaluation-of-a-double-can-seamer?redirectedFrom=PDF>
- Holguín, E., Cedeño, M., García, G., & Abambari, A. (2025). Optimización del proceso de doble cierre en envases metálicos mediante implementación de rulinas en máquinas

cerradoras RF-4A3. 8. Manta, Ecuador.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10246247>

Huacasi, L., Berrios, E., Bellido, R., & Cueva, C. (12 de enero de 2026). Automatización y robótica en la gestión de operaciones: retos administrativos, sociales y de innovación emprendedora. Carácas, Venezuela. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S2737-64192025000400070&script=sci_arttext&utm_source=chatgpt.com

Industrial physics. (2024). Double seam measurement and analysis in food canning. Estados Unidos. <https://industrialphysics.com/knowledgebase/articles/double-seaming-process-guide/>

Integrated control systems. (2026). What are the 5 Levels of Automation? Estados Unidos. <https://integrated-controls.com/what-are-the-5-levels-of-automation/>

International electrotechnical commission. (2020). IEC 61439-1: Low-voltage switchgear and controlgear assemblies. Suiza. https://www.vde-verlag.de/iec-normen/preview-pdf/info_iec61439-1%7Bed3.0.RLV%7Den.pdf

Javaid, M., Haleem, A., Pratap-Singh, R., Suman, R., & Santibanez, E. (enero de 2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. Países Bajos. https://www.researchgate.net/publication/358124784_Understanding_the_adoption_of_Industry_40_technologies_in_improving_environmental_sustainability

Jc-Electronics. (s.f.). Controlador lógico programable Siemens S7-1200 utilizado como unidad principal de control en el sistema automatizado de la cerradora de latas. España. <https://www.jc-electronics.com/6es7214-1ag40-0xb0>

Jiménez, C., & García, X. (2022). Diseño de una máquina enlatadora para una línea producción de cerveza artesanal. Guayaquil, Ecuador.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/57176/1/T->

[113021%20GARC%C3%8DA%20XAVIER-JIM%C3%89NEZ%20CARLOS.pdf](#)

Khan, R., Khan, S., Zaheer, R., & Khan, S. (2021). Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges. Italia.
https://www.researchgate.net/publication/261311447_Future_Internet_The_Internet_of_Things_Architecture_Possible_Applications_and_Key_Challenges

Levapack. (2026). A Guide to Double Seam: Mechanics, Quality, and Equipment Selection. España. <https://www.levapack.com/double-seaming-guide/>

López, K. (2021). Buenas Prácticas en Conservas de Atún. Manta, Ecuador.
<https://es.scribd.com/document/783143651/10-ITSLAM-FPE-01-Bryan-Macias-Sornoza-BPM>

López, W., Vera, M., Andrade, D., & Peña, S. (2025). Diseño e implementación de un prototipo de sistema de supervisión y control I-IOT para procesos industriales con plc de siemens y software opensource. Guayaquil, Ecuador.
<https://revista.redgade.com/index.php/Gade/article/view/713>

Mundolatas. (9 de mayo de 2023). Cerradora Angelus 60L. España.
<https://mundolatas.com/cerradora-angelus-60l/>

Muñoz, J. L. (Enero de 2022). Mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos en industria de conservas de atún. Portoviejo, Ecuador.
https://www.researchgate.net/publication/357731962_Mantenimiento_centrado_en_la_confiabilidad_a_equipos_en_industria_de_conservas_de_atun

Ntchip. (20 de marzo de 2024). Diferencia entre sistema de lazo abierto y sistema de lazo cerrado. Estados Unidos. <https://www.ntchip.com/electronics-news/difference-between-open-loop-and-closed-loop>

Parrales , W. (24 de junio de 2025). Diseño de un sistema SCADA en un PLC para la automatización del secado de cacao en la empresa Exphiorganic en la ciudad de Mocache. Santa Elena, Ecuador.
<https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/6b8b60a7-f86a-483c-b6ea-1b162511987a/content>

Parrales Villigua, W. (2025). Diseño de un sistema SCADA en un PLC para la automatización del secado de cacao en. Santa Elena, Ecuador.
<https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/6b8b60a7-f86a-483c-b6ea-1b162511987a/content>

Planet tuna. (21 de abril de 2022). Canned Tuna (II). The Journey of a Can. España.
<https://planettuna.com/en/canned-tuna-ii-the-journey-of-a-can/>

Prajwal, B., Harsha, Y., Vishwanath, S., & Prabhakar, T. (21 de Noviembre de 2021). PreMa: Predictive Maintenance of Solenoid Valve in Real-Time at Embedded Edge-Level. India. <https://arxiv.org/pdf/2211.12326>

Ramos, J., Ibarra, F., & Pérez, C. (17 de febrero de 2025). Método automático para la recolección y monitoreo de códigos de falla en procesos industriales guiados por PLCs. México. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2594-19252024000300104&script=sci_arttext

Reynolds, D. (15 de mayo de 2024). Controlador lógico programable. <https://www.xecor.com/blog/plc-vs-microcontroller>

Ruzarovsky, R., Horak, T., Skypal, R., Zelnik, R., Csekei, M., Sido, J., . . . Kopcek, M. (14 de junio de 2025). Behaviour-Based Digital Twin for Electro-Pneumatic Actuator: Modelling, Simulation, and Validation Through Virtual Commissioning. Slovakia. https://www.mdpi.com/2079-9292/14/12/2434?utm_source=chatgpt.com

Seong, J., Ranjan, R., Kye, J., Lee, S., & Lee, S. (19 de octubre de 2023). Mejora de la comunicación industrial con Ethernet/Protocolo de Internet: Estudio y análisis de la comunicación y automatización cooperativa de robots en tiempo real mediante Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet. Suiza. https://www.mdpi.com/1424-8220/23/20/8580?utm_source=chatgpt.com

Siemens. (2023). SINAMICS V20 Operating Instructions. Alemania. <https://login.siemens.com/u/login/identifier?state=hKFo2SBQWThqYTl5RXFHTkx3dVJyeXdwTEY1S2JvM09GS3VtdqFur3VuaXZlcnNhbC1sb2dpcqN0aWTZIDM2RVM1V0NxV3lvVzB2aV85czRGUIQxY1N5UXU5eXh4o2NpZNkgM1BoWXkwaHVQbEdVWTNqZnA5OThOdzJuS25vR21VTGU>

Siemens. (11 de noviembre de 2025). Documentación del sistema de periferia descentralizada SIMATIC ET 200SP. España. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109742709/documentaci%C3%B3n-del-sistema-de-periferia-descentralizada-simatic-et-200sp-?dti=0&lc=es-AR>

Siemens. (21 de abril de 2026). Additional SIMATIC S7-1200 Digital Signal Boards Released for Delivery. España. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/41270887/additional-simatic-s7-1200-digital-signal-boards-released-for-delivery?dti=0&lc=en-EC>

Singh, K.-A., Patra, F., Ghosh, T., Kumar, N., Dutta, H., & Kumar, R. (junio de 2025). Advancing food systems with industry 5.0: A systematic review of smart technologies, sustainability, and resource optimization. 9. India. <https://pdf.sciencedirectassets.com/776466/1-s2.0-S2666188824X00039/1-s2.0-S2666188825002618/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEBoaCXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQDKAhUnTBr%2B>

mJYDvsiamZsUNxdawhNl8C3ehUpNvNn%2BLQlhAKrVvRX3IPKCa9I9HPr0px%
2BhmR%2F7tw3QWmfp

Song, X., Ding, H., Zhang, X., Dong, G., Ding, H., Cui, X., . . . Wang, L. (abril de 2025). AI in food industry automation: applications and challenges. 9. China. https://www.researchgate.net/publication/391580134_AI_in_food_industry_automation_applications_and_challenges

Tello, P., & Herrera Miguel. (11 de enero de 2021). Diseño conceptual de un banco de pruebas para la evaluación de la calidad de cierre en latas de conserva. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

<https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/download/27/42?inline=1>

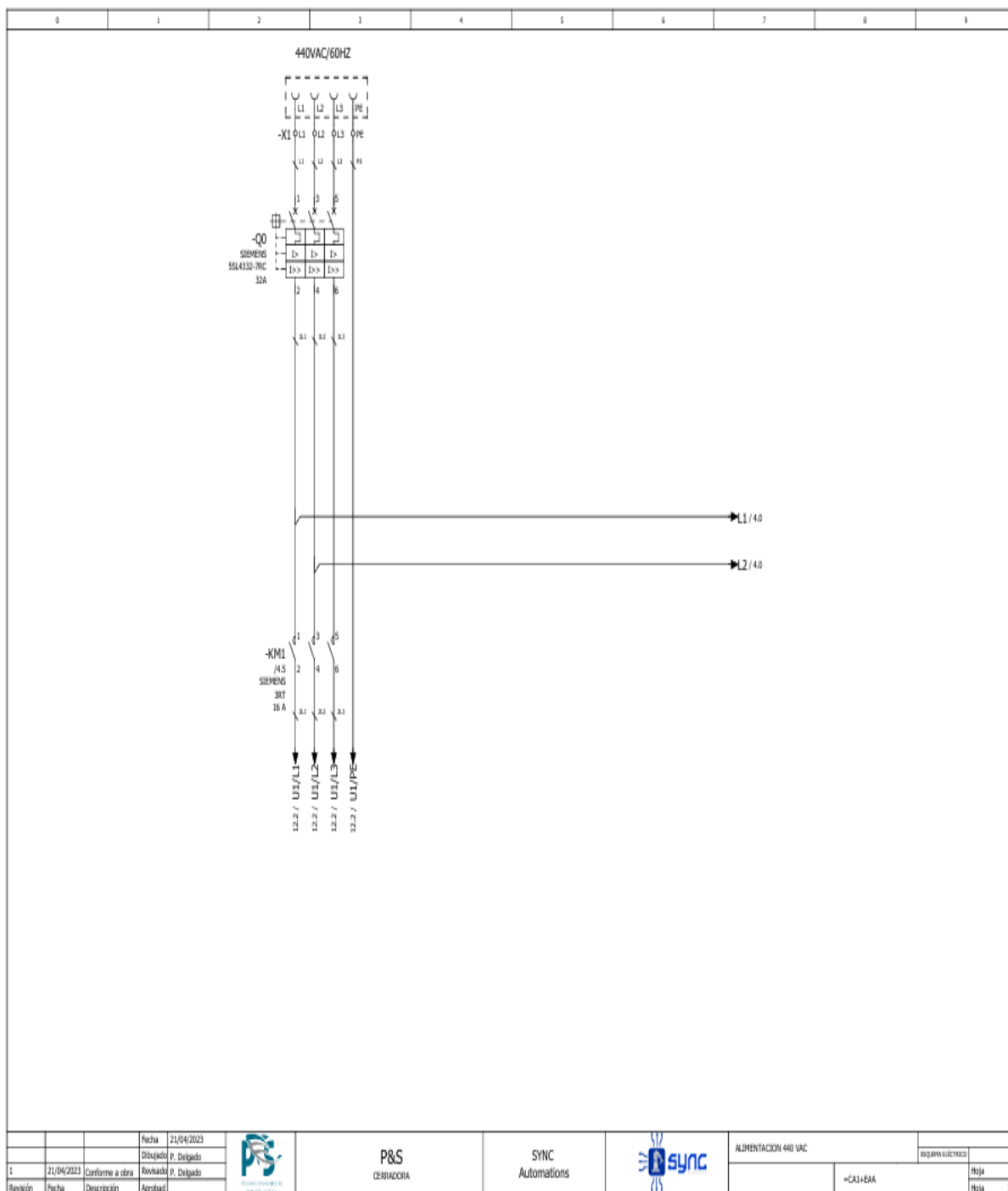
Unimat. (24 de junio de 2025). La mejor arquitectura integrada de PLC HMI para sistemas SCADA. España. <https://www.unimatautomation.com/es/blogs/news-and-press/hmi-plc-integrated>

Verdouw, C., Tekinerdogan, B., Beulens, A., & Wolfert, S. (2021). Digital twins in smart farming. 189. Países Bajos. Retrieved abril de 2026.

Yin, S., Ding, S., Xie, X., & Luo, H. (2014). A Review on Basic Data-Driven Approaches for Industrial Process Monitoring. China. https://www.researchgate.net/publication/262938435_A_Review_on_Basic_Data-Driven_Approaches_for_Industrial_Process_Monitoring

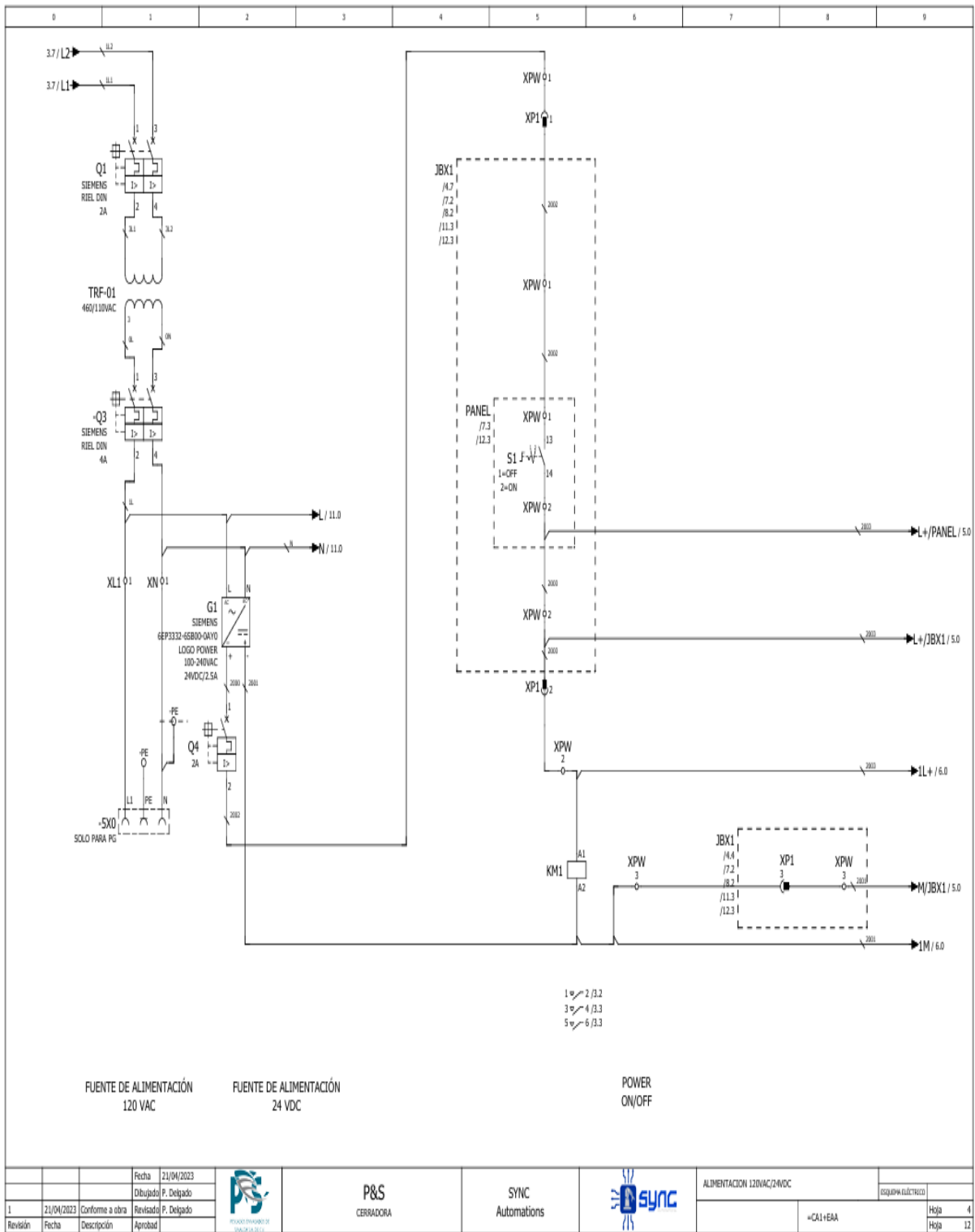
ANEXOS

Anexo 1: Alimentación 440 Vac



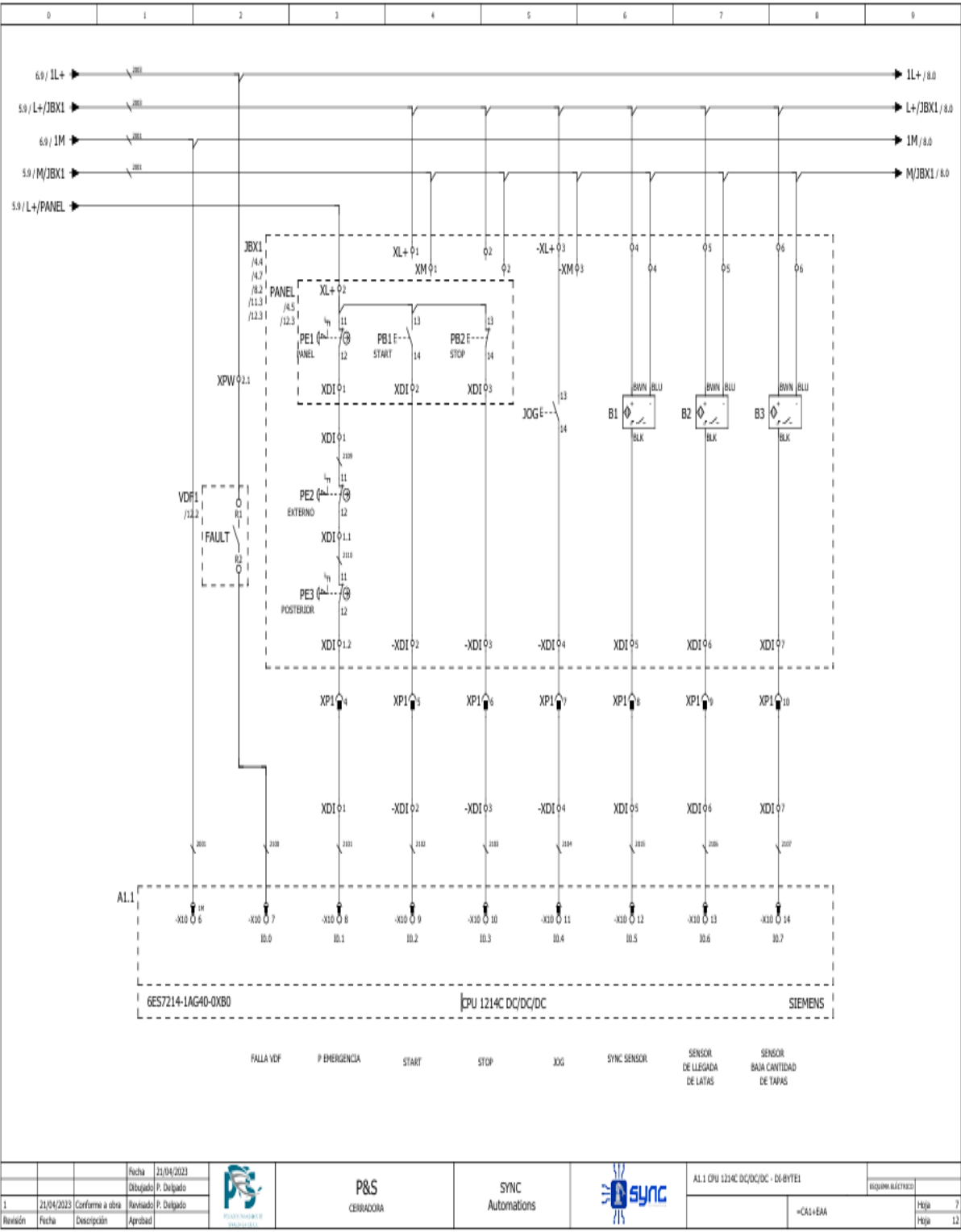
Elaborado por el autor.

Anexo 2: A1.1 CPU 1214C DC/DC/DC - ALIMENTACIÓN

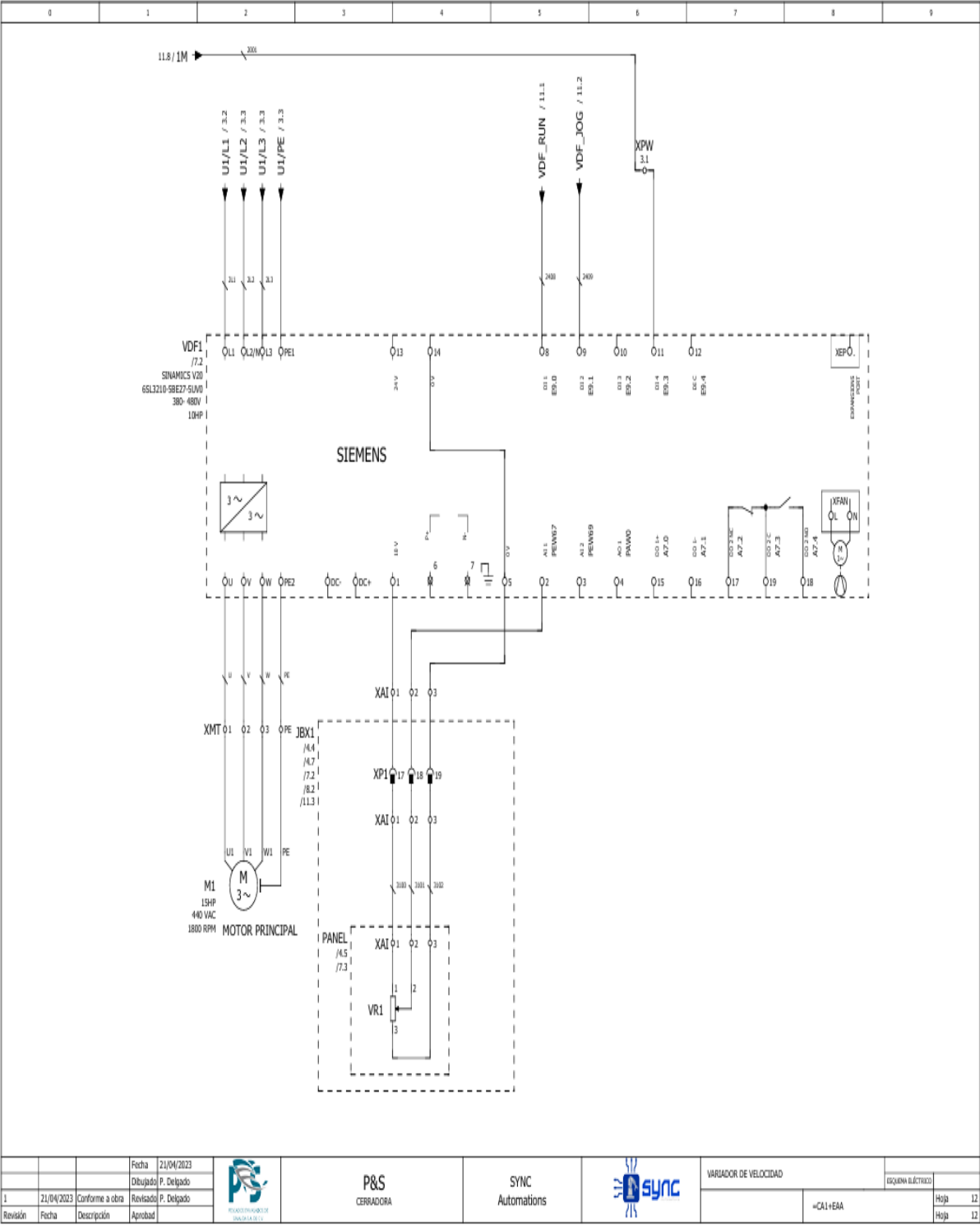


Elaborado por el autor.

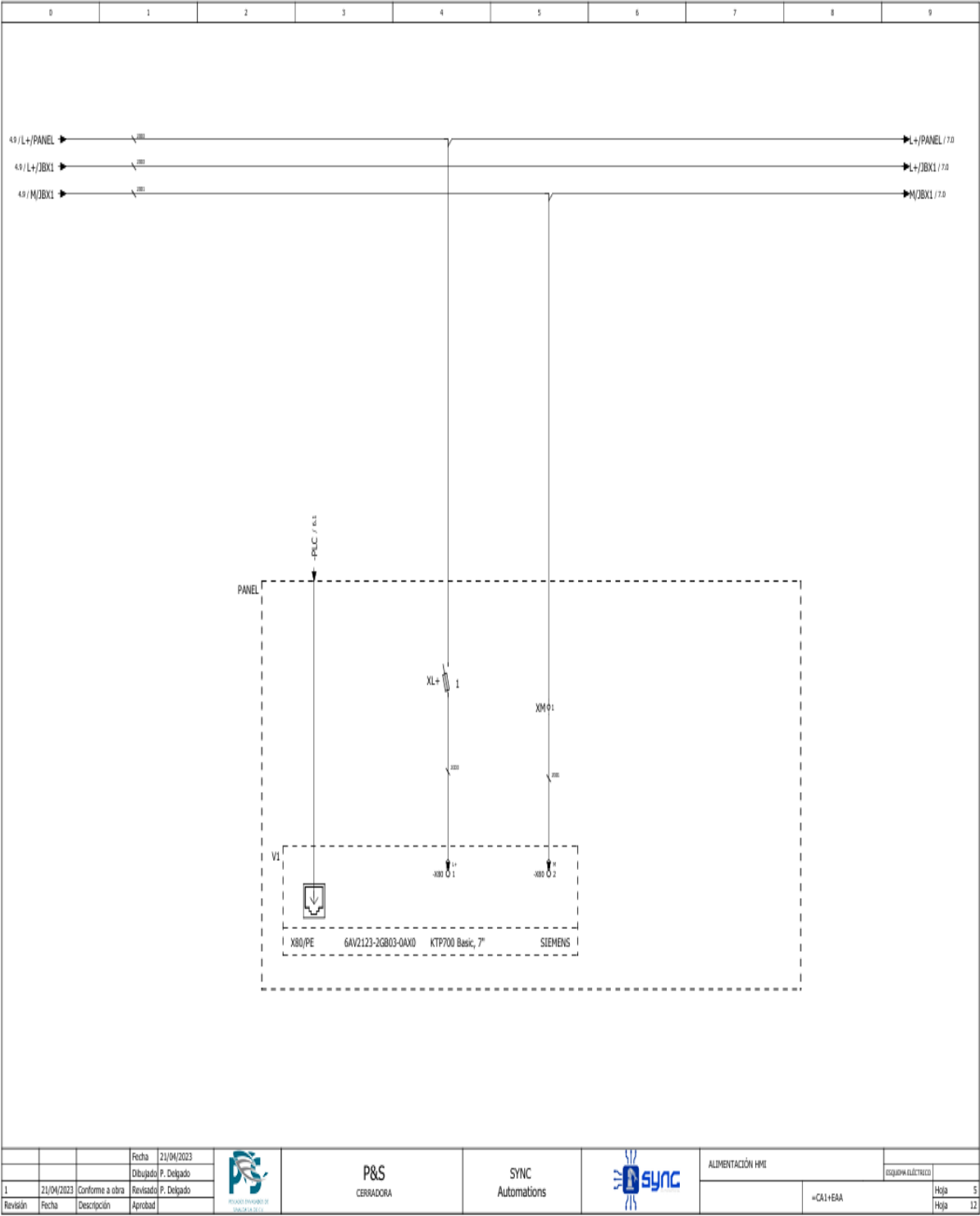
Anexo 3: CPU 1214C DC/DC/DC



Anexo 5: xxxxx



Anexo 6: xxxxx



Elaborado por el autor