

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tema:

SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITOREO PARA EL PROCESO DE EMPACADO DE LECHE EN LA EMPRESA EL CORTIJO

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

ÁREA: Automatización

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Diseño, materiales, producción, identidad, sostenibilidad y tecnologías aplicadas

AUTOR: Flavio David Arcos Robayo

Edgar Wladimir Pullutalli Chimborazo

TUTOR: Ing. Jesús Israel Guamán Molina, Mg.

Ambato - Ecuador

enero – 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITOREO PARA EL PROCESO DE EMPACADO DE LECHE EN LA EMPRESA EL CORTIJO, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por los señores Edgar Wladimir Pullutalli Chimborazo y Flavio David Arcos Robayo, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que los estudiantes han sido tutorados durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, enero 2026.

Firmado electrónicamente por:
JESUS ISRAEL GUAMAN MOLINA
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Jesús Israel Guamán Molina, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITOREO PARA EL PROCESO DE EMPACADO DE LECHE EN LA EMPRESA EL CORTIJO, es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, enero 2026.

Edgar Wladimir Pullutalli Chimborazo
C.C. 0504089277
AUTOR

Flavio David Arcos Robayo
C.C. 1805532742
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedemos todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizamos su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, enero 2026.





Edgar Wladimir Pullutalli Chimborazo	Flavio David Arcos Robayo
C.C. 0504089277	C.C. 1805532742
AUTOR	AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por los señores Edgar Wladimir Pullutalli Chimborazo y Flavio David Arcos Robayo, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITOREO PARA EL PROCESO DE EMPACADO DE LECHE EN LA EMPRESA EL CORTIJO, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con EL señor Presidente del Tribunal.

Ambato, enero 2026.

Firmado electrónicamente por:
FRANKLIN OSWALDO MAYORGA MAYORGA
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Franklin Oswaldo Mayorga Mayorga, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
MARCELO VLADIMIR GARCIA SANCHEZ
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Marcelo García Sánchez, PhD.
PROFESOR CALIFICADOR

Firmado electrónicamente por:
EDGAR PATRICIO CORDOVA CORDOVA
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Patricio Córdova Córdova, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mi madre María, por su amor incondicional, su fortaleza y su guía constante. Su ejemplo de dedicación y perseverancia ha sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante en cada etapa de este camino académico y personal.

A mi padre Rafael, que son su carácter y su amor me ha demostrado que estaría capaz de hacer cualquier cosa por lograr que yo siga mis sueños.

A mis hermanos, por acompañarme siempre con palabras de aliento, por su comprensión y por ser una motivación permanente en los desafíos que he enfrentado.

A mis cuñados, cuñadas y a mis sobrinos, por jamás dejarme solo, por apoyarme a pesar de todo, por ayudarme de una u otra manera le quedo infinitamente agradecido.

Dedico este trabajo a todos ellos, con profunda gratitud, por ser la base emocional y familiar que sostiene cada uno de mis pasos hacia el cumplimiento de mis metas espero llenar sus corazones de orgullo, ya que estoy cumpliendo las palabras que un día les prometí.

Wladimir

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por ser el pilar más sólido de mi vida. Su amor, sacrificio y confianza incondicional han guiado cada uno de mis pasos y han sido la base que me permitió avanzar incluso en los momentos más desafiantes.

Deseo agradecer al ingeniero Jesús Guamán por haberme orientado, mostrado paciencia y dedicado su esfuerzo académico. Su consejo resultó crucial para lograr este trabajo y para mi crecimiento como profesional, ofreciéndome siempre ayuda y entendimiento en cada fase del proyecto.

Extiendo mi gratitud a mis hermanos Roberto, Lucía, Olga, Luis Rodolfo, Lorena y Paul, pues con su afecto, aliento y compañía permanente me dieron el ánimo necesario para seguir adelante. Cada uno, a su manera, fue un pilar de apoyo emocional muy valioso durante esta travesía.

Mi agradecimiento también a Flavio, mi colega de tesis, por su entrega, seriedad y buena amistad. Su ayuda fue fundamental para que progresáramos juntos y sorteáramos cada dificultad que este proyecto presentó, siendo un gran apoyo durante todo el camino.

Un reconocimiento especial a mis amigos Flavio y Eddy, y a mi sobrino René, quienes me acompañaron en cada parte de esta experiencia. Su amistad, respaldo genuino y los momentos vividos desde que empecé en la universidad han hecho que esta etapa de estudios sea mucho más rica.

Wladimir

DEDICATORIA

A mi madre Lilia, cuya fortaleza, ternura y dedicación han guiado cada uno de mis pasos. Su amor inagotable ha sido el pilar que me sostuvo en los momentos más desafiantes y la luz que me acompañó en este camino académico.

A mi papá Eduvin, su vida de trabajo duro, ser responsable y no rendirse me moldeó muchísimo. Su ayuda constante y discreta fue clave para seguir adelante con enfoque y orden.

A mi hermano Juan, por su compañía sincera, por cada palabra de aliento y por su comprensión incondicional. A mi novia Jenny que su presencia ha sido un impulso constante para no rendirme y seguir creciendo.

Este trabajo va para cada uno de ustedes, con un agradecimiento enorme, ya que me brindaron apoyo emocional y me dieron energía cada día. Mi deseo es que este resultado le traiga mucha satisfacción al corazón, tal como les había asegurado en el pasado.

Flavio

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por brindarme fortaleza, claridad y salud durante todo este proceso académico y personal. Su guía ha sido indispensable para superar cada desafío y llegar con firmeza a la culminación de este trabajo.

Deseo manifestar mi profundo aprecio a mis progenitores, Lilia y Eduvin, por el respaldo total que me brindaron, sus principios y la manera en que han vivido, elementos que construyeron mi desarrollo. A mi familiar, cuñada y el chico, les doy las gracias por el afecto, la paciencia y el estímulo continuo, los cuales estuvieron conmigo durante cada fase de este trabajo.

Mi gratitud en particular al guía de mi tesis, Ingeniero Jesús Guamán, así como a los profesores que compartieron su saber, las directrices y el rigor académico, facilitando así mi avance y robusteciendo mis destrezas laborales. A la empresa en la que desarrollé este proyecto, por abrirme las puertas, facilitar los recursos necesarios y confiar en mi trabajo.

Por último, doy las gracias a mis amistades y colegas, ya que con sus frases de aliento, su presencia y el soporte afectivo hicieron más fácil este viaje.

Flavio

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA ..... **i**

APROBACIÓN DEL TUTOR ..... **ii**

AUTORÍA ..... **iii**

DERECHOS DE AUTOR ..... **iv**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ..... **v**

DEDICATORIA ..... **vi**

AGRADECIMIENTO ..... **vii**

DEDICATORIA ..... **viii**

AGRADECIMIENTO ..... **ix**

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS ..... **x**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **xiv**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xvi**

ÍNDICE DE ANEXOS ..... **xxi**

RESUMEN EJECUTIVO ..... **xxii**

ABSTRACT ..... **xxiii**

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO **1**

1.1 Tema de investigación 1

1.1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Antecedentes investigativos 4

1.3 Fundamentación teórica 6

1.3.1 Automatización 6

1.3.2 Evolución histórica de la automatización 6

1.3.3 Niveles de automatización 7

1.3.4 Importancia de la automatización en los procesos productivos 7

1.3.5 Ventajas y desventajas de la automatización 7

1.3.6 Normativas técnicas aplicadas a la automatización alimentaria 8

1.3.7 Arquitectura de sistemas industriales según ISA-95 9

1.3.8 Tipos de sistemas de control 9

1.3.9 Señales analógicas y digitales en sistemas de control. 10

1.3.10 Monitoreo automatizado 11

1.3.11 Control PID aplicado a procesos continuos 11

1.3.12 Protocolos de comunicación industrial (Profinet, Modbus, Profibus) 11

1.3.13 Componentes básicos: PLC, HMI, SCADA 12

1.3.14 Tipos de variables monitoreadas 12

1.3.15 Calibración y mantenimiento de sensores 12

1.3.16 Actuadores neumáticos e hidráulicos usados en líneas de envasado 13

1.3.17 Aplicaciones en procesos alimentarios 13

1.3.18 Proceso de diseño de un prototipo 15

1.3.19 Controlador lógico programable S7 1200 15

1.3.20 Bandas transportadoras 16

1.4 Objetivos.....19

1.4.1 Objetivo general..... 19

1.4.2 Objetivos específicos..... 19

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....20

2.1 Materiales 20

2.2 Métodos.....21

2.2.1 Modalidad de la investigación 21

2.2.2 Recolección de información 23

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos..... 24

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 25

3.1 Procesos de producción de El cortijo.....25

3.2 Proceso de envasado actual de la leche.....31

3.3 Proceso de empacado actual de envases de leche.....31

3.4 Proceso de monitoreo y registro de producción actual 32

3.5 Datos recolectados acerca de la planta de producción.....33

3.6 Tiempos de empacado de envases de leche.....33

3.7 Reconocimiento de tecnologías y equipos para el prototipo 34

3.8 Análisis de variables del proceso.....35

3.9 Parámetros de operación necesarios 35

3.10 Equipos o instrumentos que pueden ser empleados.....36

3.11 Evaluación y estudio comparativo de opciones tecnológicas.....42

3.12 Diseño técnico general del prototipo.....50

3.13 Diseño eléctrico del sistema en Cade Simu.....55

3.18 Funcionamiento operacional del prototipo.....60

3.14 Diseño de control automatizado en TIA Portal.....62

3.15 Programación HMI.....69

3.16 Diseño del sistema de monitoreo empleando Node-RED.....75

3.17 Construcción del prototipo.....104

3.19 Propuesta de validación del sistema automatizado de monitoreo basado en Node-RED.....105

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....115

4.1 Conclusiones.....115

4.2 Recomendaciones.....116

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....118

ANEXOS.....122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Materiales 20

Tabla 2. Software 20

Tabla 3. Tiempos de empacado de envases de leche 34

Tabla 4. Lista de variables presentes en el prototipo 35

Tabla 5. Parámetros de operación inicial del prototipo 36

Tabla 6. Características generales de PLC´s 36

Tabla 7. Características generales de sensores 37

Tabla 8. Características generales de motores 38

Tabla 9. Características generales de variadores de frecuencia 39

Tabla 10. Características generales de fuentes de alimentación 40

Tabla 11. Características generales de relés 41

Tabla 12. Características generales de válvulas electroneumáticas 41

Tabla 13. Características generales de cilindros neumáticos 42

Tabla 14. Descripción general de las tres opciones consideradas 43

Tabla 15. Matriz comparativa basada en criterios 44

Tabla 16. Escala de calificación 44

Tabla 17. Peso de cada criterio y calificación de cada opción 45

Tabla 18. Matriz de decisión ponderada 45

Tabla 19. Opción A (Sistema optimizable) 45

Tabla 20. Matriz comparativa de lenguajes de programación 47

Tabla 21. Matriz de limitaciones y ventajas..... 47

Tabla 22. Matriz comparativa de plataformas de monitoreo 48

Tabla 23. Matriz de selección de plataforma de monitoreo 49

Tabla 24. Validación del Conteo de Unidades en los Dos Caminos del Proceso 108

Tabla 25. Validación de los Tiempos de Activación de los Actuadores (TON y TOF) 109

Tabla 26. Validación de la Alternancia de Caminos y del Ciclo Automático 110

Tabla 27. Validación del Funcionamiento del Modo Manual.....111

Tabla 28. Validación del Envío de Notificaciones y Alarmas mediante Node-RED 112

Tabla 29. Validación de la Tolerancia a Carga y Estabilidad del Sistema en Node-RED.....112

Tabla 30. Validación del Registro de Datos.....113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis bibliométrico sobre el empacado de leche 4

Figura 2. Sistema de control tipo lazo abierto 9

Figura 3. Sistema de control tipo lazo cerrado 10

Figura 4. Controlador lógico programable S7 1200 15

Figura 5. Banda transportadora 16

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso productivo de la leche 26

Figura 7. Recepción de la materia prima 27

Figura 8. Proceso de pasteurización 27

Figura 9. Tanque de almacenamiento de leche pasteurizada 28

Figura 10. Proceso de homogeneizado 28

Figura 11. Proceso de esterilizado UHT 29

Figura 12. Proceso de envasado 29

Figura 13. Almacenamiento de empaques 30

Figura 14. Preparación para el proceso de distribución 30

Figura 15. Proceso productivo de empacado de la leche. 31

Figura 16. Proceso de empacado actual de envases de leche 31

Figura 17. Proceso de monitoreo y registro de producción actual 32

Figura 18. Esquema general del sistema 51

Figura 19. Planos del diseño general en AutoCAD 51

Figura 20. Banda transportadora 52

Figura 21. Cabezal y cuerpo de la tolva 53

Figura 22. Estructura de selladores 53

Figura 23. Estructuras direccionadoras 54

Figura 24. Cilindro neumático 54

Figura 25.Estructura principal del diseño en AutoCAD 55

Figura 26. Diseño eléctrico completo en Cade Simu. 56

Figura 27. Programación del modo automático 63

Figura 28. Red de arranque del modo automático 63

Figura 29. Habilitador general del bloque de programación. 64

Figura 30. Activación del segmento con temporizadores 65

Figura 31. Activación de temporizadores adicionales 65

Figura 32. Activación de temporizador de desconexión 66

Figura 33. Activación de la segunda vía del proceso 66

Figura 34. Programación de la etapa final 67

Figura 35. Programación del modo manual 68

Figura 36. Habilitación de cilindros 69

Figura 37. Sistema empleado 70

Figura 38. Módulo de comunicación a emplear 70

Figura 39. Configuración del run time 71

Figura 40. Diseño de portada para el proceso 71

Figura 41. Diseño desarrollado con imágenes principales 72

Figura 42. Designación de variables 72

Figura 43. Variables de los bloques de programación 73

Figura 44. Programación para activación desde la interfaz hombre-máquina 73

Figura 45. Ejemplo de comunicación con la interfaz 74

Figura 46. Vinculación de variable con espacio definido en la programación 75

Figura 47. Inicio del servidor Node-RED en la consola Windows 76

Figura 48. Interfaz principal de Node-RED 77

Figura 49. Instalación de nodos para la comunicación, interfaz y mensajería 78

Figura 50. Selección para personalizar pantallas 78

Figura 51. Panel de control con organización por secciones en tema 79

Figura 52. Configuración de botones y organización de grupos en el dashboard 79

Figura 53. Configuración individual de los elementos que formarán parte del panel 80

Figura 54. Visualización de mensajes y estados mediante el panel de depuración ... 81

Figura 55. Estructura inicial de programación del sistema 82

Figura 56. Configuración del nodo Opción 1 y asignación del trigger 82

Figura 57. Programación del trigger con un pulso de 250 ms 83

Figura 58. Configuración del nodo de salida hacia el PLC 84

Figura 59. Definición de dirección IP, puerto y parámetros de conexión del PLC ... 84

Figura 60. Ajuste final del nodo endpoint del PLC 85

Figura 61. Relación entre el diagrama del PLC y las marcas empleadas en Node-RED 85

Figura 62. Lista de variables utilizadas para control del sistema 86

Figura 63. Variables adicionales para control de cilindros y modos de operación ... 86

Figura 64. Variables de salida relacionadas con indicadores y actuadores..... 87

Figura 65. Configuración de variables de salida asociadas a indicadores y actuadores 88

Figura 66. Organización de los textos y etiquetas para la interfaz del panel 88

Figura 67. Definición de los elementos visuales que formarán parte del panel 89

Figura 68. Configuración del nodo de imágenes y categorización de archivos 90

Figura 69. Integración de los datos obtenidos del PLC en el sistema de monitoreo . 91

Figura 70. Configuración del gauge para visualizar valores provenientes del PLC.. 91

Figura 71. Configuración del indicador LED para visualización de estados 92

Figura 72. Programación del modo manual para el control individual de actuadores93

Figura 73. Organización de textos, recursos visuales y datos del PLC para el modo manual 94

Figura 74. Integración del nodo de conexión celular para el envío de notificaciones94

Figura 75. Configuración del nodo de acceso remoto para habilitar comunicación externa 95

Figura 76. Parámetros de configuración del servicio remoto para acceso externo al panel 96

Figura 77. Conexión móvil con el sistema mediante la app Remote-RED..... 96

Figura 78. Interfaz final del panel de control en modos automático y manual 97

Figura 79. Integración del sistema de envío de mensajes a WhatsApp 98

Figura 80. Configuración del administrador de WhatsApp 98

Figura 81. Configuración del envío de mensajes a WhatsApp desde Node-RED 99

Figura 82. Configuración del nodo de envío a grupo de WhatsApp 99

Figura 83. Inicialización de la lógica del nodo “Construcción del mensaje” 100

Figura 84. Actualización y almacenamiento de datos en el contexto 100

Figura 85. Retorno del mensaje formateado hacia el flujo de salida.....101

Figura 86. Mensaje recibido en WhatsApp tras la ejecución del flujo 101

Figura 87. Instalación de MySQL Workbench.....102

Figura 88. Creación de la base de datos antes de enviar información 102

Figura 89. Configuración del envío de datos a la base de datos.....103

Figura 90. Ajuste del nodo Join para combinar mensajes.....104

Figura 91. Construcción mecánica del prototipo.....104

Figura 92. Sistema de monitoreo y control funcionando 105

Figura 93. Informe generado después de realización de pruebas 114

Figura 94. Resultados en la pantalla Node-RED.....114

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Diseño general del prototipo en AutoCAD 122

Anexo B. Diseño de la estructura o esqueleto metálico 123

Anexo C. Diseño de cabezal y cuerpo de la tolva 124

Anexo D. Diseño del mecanismo clasificador 125

Anexo E. Cilindro y soporte de niquelinas 126

Anexo F. Construcción general prototipo 127

Anexo G. Programación en TIA Portal del modo automático 130

Anexo H. Programación en TIA Portal del modo manual 133

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto desarrolla un sistema automatizado de monitoreo para el proceso de empacado de leche en la empresa El Cortijo, con el propósito de mejorar la precisión, trazabilidad y eficiencia de la operación. En la situación actual, el proceso depende en gran medida del registro manual, lo que genera errores en el conteo de envases, incrementa los reprocesos y limita la capacidad de supervisión en tiempo real.

Para solucionar este problema, se sugiere un mecanismo que utiliza herramientas de automatización industrial. Este incluye detectores, un Controlador Lógico Programable (PLC) y un modelo físico a escala que imita el proceso de empaquetado real. La investigación comienza examinando a fondo cómo se fabrica todo y qué requiere el área de producción.

Luego, se diseña y monta un ejemplo que funciona, capaz de detectar los envases, llevar la cuenta, juntar grupos de cuatro, y hacer funcionar dos máquinas de sellado en turnos, imitando la acción industrial, con una velocidad de cuatro envases cada minuto. Los ensayos confirmaron que el mecanismo es funcional, mostrando avances claros en cómo se controla y monitorea, y probando que el diseño se puede llevar a la línea de producción. Lo obtenido indica que el método sugerido ayuda a mejorar el empacado, y es más eficiente que le proceso manual, y prepara el camino para conectarse con las nuevas tecnologías de la Industria 4. 0, siendo un avance significativo en el proceso de empacado de la compañía.

Palabras claves: Automatización industrial, monitoreo, empacado de leche, PLC, HMI, prototipo.

ABSTRACT

This project develops an automated monitoring system for the milk packaging process at the company El Cortijo, with the purpose of improving the accuracy, traceability, and efficiency of the operation. In the current situation, the process relies heavily on manual recording, which generates errors in the counting of containers, increases rework, and limits the ability to supervise the process in real time.

To solve this problem, a mechanism that uses industrial automation tools is proposed. It includes sensors, a Programmable Logic Controller (PLC) touchscreen, and a physical scale model that replicates the real packaging process. The research begins with an in-depth examination of how the product is manufactured and what the production area requires.

Then, a functional prototype is designed and assembled, capable of detecting the containers, keeping count, grouping them in sets of four, and operating two sealing machines in alternating turns, imitating the industrial operation but at a slower rate of four containers per minute. The tests confirmed that the mechanism works correctly, showing clear improvements in how the process is controlled and monitored, and demonstrating that the design can be transferred to the full-scale production line. The results indicate that the proposed method helps to improve the packaging process, makes better use of resources, and paves the way for integration with new Industry 4.0 technologies, making it a good option for updating the company's operations.

Keywords: First Industrial automation, monitoring, milk packaging, PLC, HMI, prototype.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITOREO PARA EL PROCESO DE EMPACADO DE LECHE EN LA EMPRESA EL CORTIJO

1.1.1 Planteamiento del problema

En el ámbito internacional, el sector del envasado para lácteos ha mostrado una expansión importante durante los últimos años. Se calcula que, en el año 2023, el valor total del mercado de empaquetado de productos lácteos ascendió a unos 31,000 millones de dólares. Se espera que, para el año 2030, esta cifra llegue a los 37,400 millones de dólares, con un crecimiento anual compuesto del 2.7% desde 2024 hasta 2030 [1]. Este desarrollo se debe a distintas causas principales, como el aumento del consumo de lácteos, sobre todo en países con economías emergentes como China e India. Allí, el consumo ha subido gracias a los mayores ingresos y a la inclinación por dietas más sanas.

Asimismo, el incremento de la comida fácil de preparar y consumir ha impulsado la demanda de empaques prácticos y visualmente agradables. En lo que respecta a los materiales, el plástico acaparó el 45.1% de las ganancias del sector en 2023, gracias a su adaptabilidad y resistencia en productos como leche, yogur y queso. No obstante, la mayor inquietud por el daño ecológico de los plásticos ha fomentado el uso de empaques ecológicos, como el papel y el cartón, cuyo crecimiento se estima en un 3.0% anual durante el mismo lapso. Por otro lado, la industria está incorporando tecnologías de punta, como empaques inteligentes con sensores de frescura y códigos QR para datos del producto, y métodos de empaque aséptico que extienden la duración de los lácteos sin necesidad de refrigeración [2].

En América Latina, se ha observado un incremento importante en el sector de empaquetado para productos derivados de la leche, lo cual se debe al alza tanto en la elaboración como en la ingesta de estos productos. De acuerdo con cifras de la Asociación Latinoamericana de Envases (ALIP), durante 2023, los envases de cartón

y las cajas representaron un 55% del total de las opciones de empaquetado para lácteo en la zona, debido a su precio accesible y a su utilidad para extender el periodo de conservación de dichos productos, sobre todo de la leche. Empresas como Tetra Pak aplican innovación tecnológica sostenible para mejorar el diseño de empaques, reduciendo el impacto ambiental y respondiendo a la creciente conciencia ecológica de los consumidores [3].

Según la gente de la Asociación Brasileña de la Industria Láctea (ABIQ), Brasil está a la cabeza en este campo, llevándose un 45% del total producido en 2023. Este dominio se debe a su industria lechera en auge ya que la gente quiere muchos los lácteos ya listos para consumir. Argentina también muestra un progreso importante; la Asociación Latinoamericana de Libre Comercio (ALALAC) notó un aumento del 8% en su sector lácteo durante 2023, lo cual impulsa la demanda de envases fáciles de usar y amigables con el planeta. Además, el Instituto Argentino del Envase (IPA) indicó que un 35% de los empaques de lácteos en Argentina usan materiales que se pueden reciclar, señalando una preferencia por opciones más ecológicas [4].

La zona de Tungurahua destaca en Ecuador por su gran aporte a la producción de leche. Cada día, esta región junta unos 430.000 litros de leche, quedando en el cuarto lugar del país. Este trabajo no solo le da vida a la economía local, sino que también satisface la demanda de lácteos de calidad en varias regiones nacionales. En Tungurahua, Píllaro es reconocido por producir mucha leche fresca. Un estudio realizado en 2021 analizó la producción, rentabilidad y viabilidad de las fincas lecheras, evidenciando la influencia del tamaño del rebaño, la gestión y los recursos disponibles. Este estudio recalca la importancia de implementar acciones que impulsen la producción y mejoren la calidad de vida de los ganaderos[4].

La ausencia de un sistema de monitoreo en tiempo real del empacado de envases de leche dificulta detectar errores como sobrecarga de personal, cantidades incorrectas y desviaciones del proceso. Está falla tecnológica genera una gran ineficiencia en el sistema de control, ya que impide la supervisión continua, algo vital en procesos que requieren precisión y velocidad. Esto genera ineficiencia en el sistema de control, al limitar la supervisión continua, requisito esencial en procesos industriales que demandan precisión y rapidez. [4].

No contar con herramientas de información actuales y enlazadas dificulta reunir registros de elaboración, seguimiento y supervisión en un punto único, lo cual restringe la capacidad de examinar y tomar soluciones ágiles. La falta de unión tecnológica mantiene la vigilancia del lácteo envasado como algo poco efectivo, dado que no se reciben avisos veloces ni noticias al instante sobre fallos en la línea. Esta deficiencia lleva a corregir situaciones ya ocurridas en vez de evitarlas, lo que implica repetir labores, desperdiciar suministros e involucrar a bastante personal. A causa de esto, los gastos se elevan considerablemente, afectando la rentabilidad del negocio y su aptitud para medirse con otras compañías más actualizadas [5].

Si el sistema de control de calidad es débil, ya sea por falta de gente capacitada, protocolos incorrectos o herramientas viejas, esto afecta directamente el monitoreo del envasado de leche. La ausencia de criterios robustos y mecanismos de verificación permitió que empaques con cantidades incorrectas de envases de leche no fueran detectados y llegaran al cliente. Esto no solo daña lo que el cliente piensa de la marca, sino que también pone en riesgo la seguridad de los alimentos [5].

En este estudio se diseña un sistema de monitoreo en tiempo real, integrando sensores modernos y equipos de medición precisos para optimizar el proceso de empacado de leche. Este sistema dejará registrar y ver seguido los tiempos de empacado de los envases de leche, ayudando detectar problemas en la línea de producción. Con información al día, la empresa podrá tomar decisiones de forma rápida, bajando la pérdida de producto, mejorando el control de calidad y el rastreo del proceso. Además, esta mejora tecnológica permitió tener una base para automatizar y asegurar una mayor competencia en el mercado con productos iguales y buenos.

La supervisión del proceso de empacado de leche en la empresa mostró deficiencias notables, ya que no se cuenta con un sistema que opere al instante ni se han incorporado herramientas tecnológicas actuales. Esta situación ha generado pérdidas económicas por errores de empaque, afectaciones en la calidad del producto y mayores costos operativos, reduciendo la competitividad y la sostenibilidad del negocio.

1.2 Antecedentes investigativos

Las investigaciones sobre el empacado de leche se iniciaron en 1958. Debido al número limitado de estudios, se realizó un análisis bibliométrico desde el año 2000 utilizando Scopus. Los resultados evidencian un incremento significativo de investigaciones, como se observa en la Figura 1.

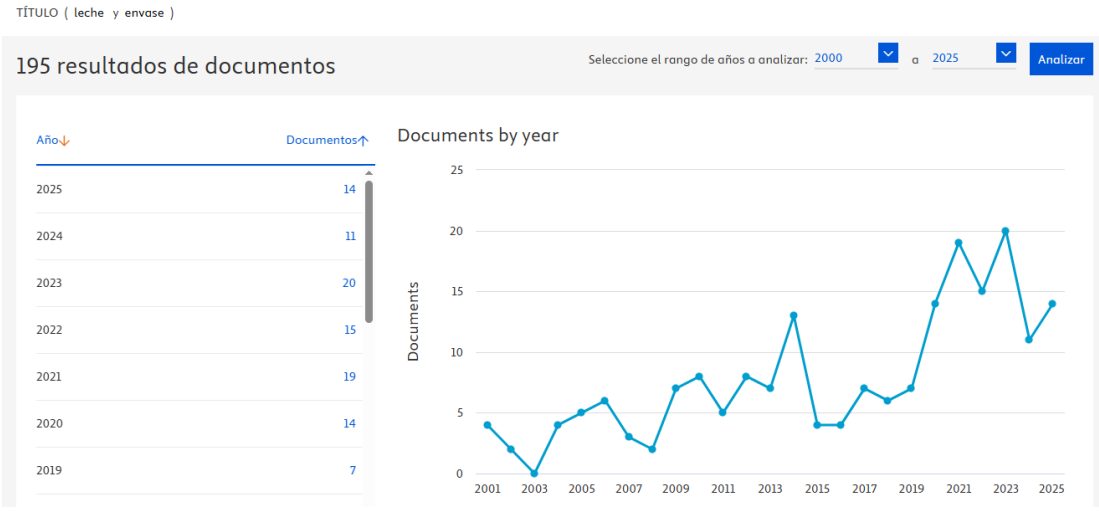


Figura 1. Análisis bibliométrico sobre el empacado de leche

Varios estudios se han enfocado en la automatización del procedimiento de empaquetado de leche. Un caso sobresaliente es el proyecto creado por Páramo Flores y López Sabando, que recrearon el proceso de empaque de leche usando autómatas programables (PLC), interfaces HMI y plataformas IoT. Esta estrategia facilitó una vigilancia eficaz de las variables del proceso, garantizando exactitud, calidad y eficiencia en el funcionamiento, además de evitar acciones innecesarias en la maquinaria. El despliegue de estas tecnologías no solo perfecciona el proceso de empaque, sino que también brinda una base firme para la creación de sistemas automatizados de seguimiento en la industria lechera [6].

Estudios recientes han puesto de manifiesto la importancia de usar sistemas automatizados para registrar y seguir de cerca la producción lechera. Escobar Ruiz y su equipo crearon y pusieron en marcha un sistema que emplea módulos electrónicos Arduino Uno y tecnología RFID, todo ello para gestionar y supervisar la producción de leche en una granja. Este sistema hace posible registrar la información de cada vaca

individualmente y medir con exactitud cuánta leche produce, lo que facilita la toma de decisiones clave para impulsar la productividad. Usar tecnologías parecidas en el proceso de envasado podría mejorar el rastreo y la eficiencia del sistema [7].

Poner en práctica la automatización para contar y pesar la leche ya empaquetada ha demostrado ser una forma buena de reducir errores y pérdidas de dinero. Córdova Guaraca y Mora Bonilla introdujeron un sistema automático en la compañía de lácteos llamada INLADEC. Dicho sistema utiliza dispositivos sensores y controladores lógicos configurables. La meta es clasificar y cuantificar los envases de leche de diferentes tamaños. Este mecanismo mejora la precisión al catalogar y medir, haciendo el proceso más rápido y minimizando los despistes de las personas en la cadena de elaboración. Emplear tecnologías parecidas en el proceso de empaque puede potenciar la eficacia y la precisión del sistema [8].

Se ha investigado la creación de sistemas automatizados que se apoyan en redes industriales, todo esto con el fin de optimizar la supervisión del procedimiento de etiquetado y depósito en la industria de productos lácteos. Lindao Chavarría ideó un sistema que emplea un controlador resistente y un Gateway para la transmisión de información, lo cual facilita una gestión eficaz del proceso de rotulación y resguardo de empaques de leche. Esta perspectiva mejora la rastreabilidad y productividad del proceso, elementos clave al implementar un sistema automatizado de seguimiento en el envasado de leche [9].

La implementación de soluciones tecnológicas avanzadas que han facilitado de manera significativa la vida de los seres humanos, incluyendo la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, ha transformado la elaboración de productos lácteos perfeccionando cada fase de su producción. Estas innovaciones posibilitan la adquisición y el estudio de datos al instante, lo que mejora la uniformidad del producto final y aumenta al máximo la eficacia de las operaciones. El uso de estas herramientas en el envasado ofrece una supervisión constante y una reacción ágil ante cualquier problema que altere las condiciones ideales del proceso [10].

Con base a la revisión de literatura se puede observar el gran interés de la automatización en el empaquetado de la leche, lo que permite conseguir un producto de calidad para la entrega al consumidor final. El sistema propuesto incorpora

tecnologías de monitoreo actuales, diferenciándose de soluciones previas. Estas tecnologías permiten generar reportes automatizados para una gestión precisa de la información. El uso de Node-RED con envío de reportes mediante WhatsApp constituye una innovación del proyecto. La plataforma facilita el monitoreo en tiempo real del proceso de empaquetado de leche y una supervisión global del sistema.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Automatización

La automatización en la industria involucra el empleo de tecnologías y sistemas electrónicos diseñados para supervisar y administrar los procesos de producción, disminuyendo la necesidad de interacción humana directa. Esto se consigue gracias al uso de sensores, actuadores y controladores automáticos que hacen posible la realización exacta y eficaz de las labores generando un ego de confianza en las grandes empresas que implementan este tipo de sistemas. Dentro del sector alimentario, la automatización es fundamental para asegurar el cumplimiento de las normas estrictas de calidad, higiene y seguridad, elementos que resultan cruciales, especialmente, en el envasado de la leche [11].

1.3.2 Evolución histórica de la automatización

La automatización industrial surgió con la mecanización y los primeros sistemas de control durante la Revolución Industrial, con el objetivo de aumentar la producción y reducir el esfuerzo manual. El gran desarrollo de la electrónica y los controladores digitales, han permitido que las fábricas incorporen dispositivos capaces de medir variables, tomar decisiones lógicas y accionar equipos de manera repetible. Esta transición ha permitido generar procesos más estables y con menor dependencia de la habilidad individual del operario [12].

Durante los años recientes, la automatización se ha enfocado en juntar redes de intercambio de datos, programas de control y aplicaciones informáticas específicas[12]. Actualmente, los procesos industriales abarcan diseños repartidos, chequeo constante y enlace con programas administrativos, lo cual

allana el paso a las ideas de Industria 4.0 y 5.0. Debido a esto, la automatización deja de ser solo un instrumento de fabricación, sino un factor clave para que las compañías puedan competir.

1.3.3 Niveles de automatización

La automatización se organiza fundamentalmente en tres niveles clave. Primero, en la base, encontramos los dispositivos de campo que recogen datos y ejecutan las acciones físicas, como los sensores y los actuadores. Luego, en la siguiente etapa, el nivel de control, se ubican los PLC (Controladores Lógicos Programables) que procesan la información recibida y toman decisiones basadas en ella. Finalmente, el nivel de supervisión incluye los sistemas SCADA y las interfaces HMI (Interfaz Hombre-Máquina), que permiten a los operadores monitorear y gestionar el proceso en tiempo real, asegurando de este modo su óptimo rendimiento y que el nivel de producción cumpla con los requerimientos solicitados [11].

1.3.4 Importancia de la automatización en los procesos productivos

Poner en práctica mecanismos automáticos resulta fundamental para mejorar tanto el rendimiento como los niveles en la fabricación. Estos mecanismos permiten llevar a cabo tareas de forma constante y precisa, reduciendo así la dependencia de que las personas participen, lo que acelera la fabricación y baja la probabilidad de errores. Concretamente, al llenar envases de leche, la automatización asegura que cada unidad se llena correctamente, **cumpliendo las reglas de limpieza y las inspecciones de calidad, y evitando problemas como que el líquido se salga o se una con otros elementos [13].**

1.3.5 Ventajas y desventajas de la automatización

La integración tecnológica usualmente conlleva mejoras palpables en diversos sectores. En principio, se observa un aumento notable en la eficiencia, ya que los periodos de inactividad se reducen considerablemente. Adicionalmente, los procedimientos se refinan y perfeccionan. Gracias a la tecnología, los errores de cálculo, ubicación y cualquier equivocación humana disminuyen, lo que se traduce en

un trabajo más ágil, valioso y exacto. La correcta ejecución de las tareas ofrece un control total, optimizando la administración en la toma de decisiones, los informes y en general, la información disponible [13].

La automatización industrial ofrece ventajas laborales, como la operación continua de máquinas sin dependencia de turnos, manteniendo un alto desempeño. No obstante, este enfoque también presenta desventajas. En primer lugar, la inversión necesaria para instalar estos sistemas suele ser considerable y puede convertirse en una barrera para numerosas empresas. A esto se suma la necesidad de contar con personal técnico especializado que se encargue del mantenimiento y de las actualizaciones, lo que implica costos adicionales y nuevos desafíos de gestión. Además, la automatización puede derivar en la reducción de puestos de trabajo, con efectos sociales y económicos que no siempre se valoran desde el inicio. Muchas organizaciones, especialmente en zonas donde la mayor parte de la población depende de labores operativas, no están totalmente preparadas para enfrentar este tipo de cambios. Por ello, se vuelve imprescindible acompañar estas transformaciones con una planificación estratégica que contemple la reconversión laboral y el desarrollo de competencias técnicas en los trabajadores[13].

1.3.6 Normativas técnicas aplicadas a la automatización alimentaria

En la industria de alimentos la automatización debe alinearse con normas que aseguran inocuidad y control documentado. ISO 22000 define los requisitos de un sistema de gestión de inocuidad que integra análisis de peligros, control operacional y comunicación a lo largo de la cadena alimentaria [14]. Esta norma incorpora los principios del sistema HACCP y los pasos establecidos por la Comisión del Codex Ali

Las Buenas Prácticas de Manufactura se centran en la higiene, diseño sanitario de equipos, capacitación y mantenimiento, y son la base para que la automatización opere en condiciones controladas. El enfoque HACCP identifica peligros y define puntos críticos donde la medición automática y el registro de datos son esenciales. El Codex Alimentario establece guías y códigos de práctica que orientan a las plantas lácteas en la validación de procesos, definición de límites críticos y verificación de sistemas de control, como marco internacional de referencia. [14].

1.3.7 Arquitectura de sistemas industriales según ISA-95

ISA-95 es un conjunto de normas que organiza la integración entre sistemas de control de planta y sistemas empresariales, definiendo niveles funcionales y tipos de información que se intercambian. Esta arquitectura separa el control directo de procesos, la gestión de operaciones y la planificación de recursos, lo que facilita diseñar interfaces claras entre PLC, sistemas SCADA, MES y ERP [15].

La implementación de la norma ISA-95 en una planta de alimentos permite organizar de forma clara qué datos se recoge en el nivel de campo y cómo se transmite a los niveles superiores, donde se analiza para fines de producción, mantenimiento y calidad [16]. Con ello se evita repetir registros, se fortalece la trazabilidad y se cuenta con datos coherentes para respaldar decisiones tácticas y estratégicas, algo especialmente importante en procesos regulados como el de empacado de leche.

1.3.8 Tipos de sistemas de control

Sistemas de control tipo Lazo Abierto

En este esquema, el control se basa únicamente en la entrada del sistema, sin retroalimentación, correspondiendo a un sistema de lazo abierto que no considera la salida final. En este tipo de sistema no es posible verificar el cumplimiento del objetivo, por lo que no puede corregir fallos de forma autónoma. Aunque es sencillo, resulta menos preciso ante variaciones o perturbaciones. [13]. En la Figura 2 se muestra el sistema de control tipo lazo abierto

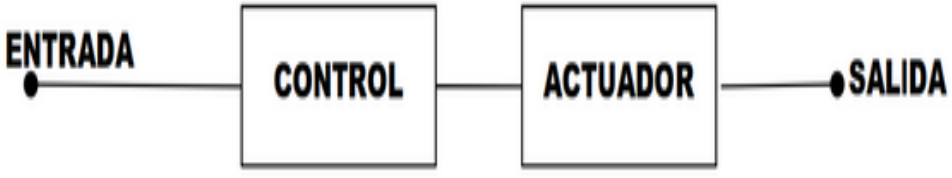


Figura 2. Sistema de control tipo lazo abierto

Sistemas de control tipo Lazo Cerrado

Se trata de un esquema integrado con un método de retroalimentación efectuado por un sensor, donde el resultado del procedimiento se evalúa y se coteja con un valor predefinido. Si se detecta una discrepancia entre ambos valores, el esquema procurará ejecutar una pequeña rectificación automática para atenuar esa falla. Esto se traduce en mayor exactitud y estabilidad ante variaciones del proceso. Estos sistemas son ampliamente utilizados en automatización, ya que corrigen errores de forma autónoma durante la producción [13][16].

En la Figura 3 se muestra el sistema de control tipo lazo abierto

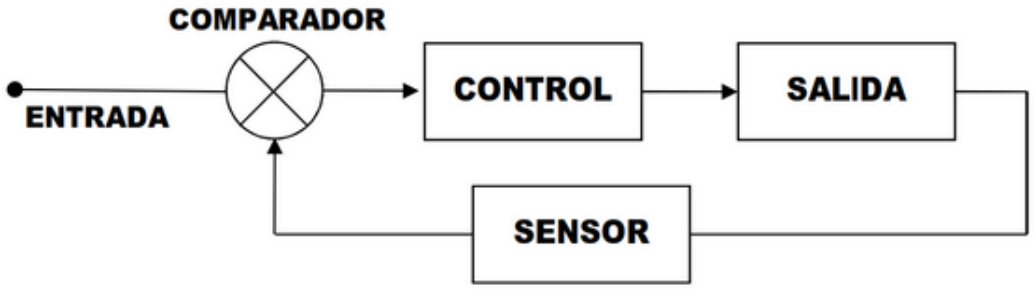


Figura 3. Sistema de control tipo lazo cerrado

1.3.9 Señales analógicas y digitales en sistemas de control.

En un sistema de control industrial, las señales analógicas se utilizan para representar magnitudes físicas que varían de manera continua en el tiempo, como la temperatura, la presión. Estas señales se convierten normalmente a rangos estándar como 4–20 mA o 0–10 V para que los PLC puedan leerlas y procesarlas. Gracias a esta representación continua se detectan variaciones sutiles del proceso y se aplican ajustes finos en los actuadores [17].

Las señales digitales, en cambio, representan estados discretos, como encendido/apagado, presencia o ausencia de producto, o la activación de una alarma. Al trabajar de manera conjunta, las señales analógicas y digitales permiten que un mismo sistema gestione tanto las variables de proceso como las diferentes secuencias de operación, algo muy común en las líneas de envasado automatizadas.

1.3.10 Monitoreo automatizado

El seguimiento automatizado implica examinar y registrar al instante las variables cruciales del procedimiento, valiéndose de sensores y sistemas electrónicos. Dicho seguimiento permite la acumulación ininterrumpida de datos, lo que simplifica la adopción de decisiones inmediatas y correctivas si una variable se aparta de los límites establecidos, mejorando así la eficiencia operativa y la seguridad del procedimiento [16].

1.3.11 Control PID aplicado a procesos continuos

El control PID se basa en tres acciones que responden al error entre el valor medido y el valor deseado de una variable de proceso. La parte proporcional reacciona al error instantáneo, la integral considera el error acumulado y la derivativa anticipa cambios futuros. Al ajustar correctamente estos parámetros se obtiene una respuesta estable, sin oscilaciones excesivas y con tiempos de asentamiento adecuados en procesos continuos [18].

En la industria alimentaria, en tareas como regular la temperatura durante la pasteurización o controlar el caudal de llenado de los envases, el controlador PID se emplea ampliamente debido a que es sencillo de implementar y ofrece un comportamiento estable y confiable [19]. Además, en la literatura reciente se reportan enfoques de autoajuste de controladores PID basados en algoritmos de aprendizaje, lo que incrementa la capacidad del sistema para ajustarse a variaciones en las condiciones de operación.

1.3.12 Protocolos de comunicación industrial (Profinet, Modbus, Profibus)

Los protocolos de comunicación industrial permiten el intercambio de datos entre PLC, dispositivos de campo y sistemas de supervisión. Profinet se basa en Ethernet y ofrece altas velocidades y capacidad para integrar control en tiempo casi real, lo que lo convierte en una opción habitual en arquitecturas modernas. Modbus, en sus variantes serie y TCP, se destaca por su simplicidad y amplia compatibilidad con equipos de distintos fabricantes [19], [20].

Profibus fue uno de los primeros buses de campo estandarizados y se utiliza aún en muchas plantas para conectar sensores, actuadores y controladores en redes deterministas [19]. La elección entre estos protocolos depende de requisitos de velocidad, distancia, interoperabilidad y tipo de aplicación. En sistemas de empacado de leche la comunicación confiable entre módulos de llenado, pesaje y etiquetado es fundamental para mantener la sincronización y la calidad del proceso.

1.3.13 Componentes básicos: PLC, HMI, SCADA

Un esquema de seguimiento automatizado consta de diversos componentes fundamentales. Los sensores miden factores físicos como temperatura, presión y caudal, y remiten esta información a un PLC (Controlador Lógico Programable), que trata los datos y toma decisiones según las exigencias del procedimiento. Las interfaces HMI permiten a los operarios visualizar y manejar el procedimiento, mientras que los sistemas SCADA facilitan la supervisión remota, el archivo de datos históricos y la creación de informes para examinar más a fondo el rendimiento del esquema [21].

1.3.14 Tipos de variables monitoreadas

Al preparar la leche para su empaquetado, se vigilan muy de cerca ciertos aspectos clave para certificar que sea segura y de buena calidad. Por ejemplo, se revisa la fuerza con la que se llenan los recipientes, la cantidad exacta de leche que se añade a cada uno, el calor del líquido para que no proliferen bacterias, y que los cierres estén perfectos para que no haya escapes ni se contamine nada. Tener bien controlados estos puntos es vital para que cada envase esté a la altura de lo que se espera [22].

1.3.15 Calibración y mantenimiento de sensores

Los sensores son la base de cualquier sistema de monitoreo y su precisión depende de una calibración periódica frente a patrones conocidos. En automatización de procesos se recomienda definir intervalos de calibración según criticidad, condiciones ambientales y recomendaciones del fabricante. Una calibración correcta reduce errores sistemáticos y evita decisiones de control basadas en datos sesgados [23].

El mantenimiento de sensores incluye limpieza, revisión de conexiones, verificación de sellos y comprobación de respuesta ante cambios de la variable medida. En la industria láctea la higiene es un aspecto clave, por lo que los dispositivos deben soportar lavados frecuentes y productos de limpieza sin perder exactitud. Una gestión adecuada de calibración y mantenimiento fortalece la confiabilidad del sistema automatizado y apoya el cumplimiento de normativas de calidad e inocuidad

1.3.16 Actuadores neumáticos e hidráulicos usados en líneas de envasado

En muchas líneas de envasado se utilizan actuadores neumáticos para realizar movimientos rápidos de baja a media fuerza, como abrir y cerrar compuertas o desplazar envases sobre bandas. Estos actuadores se alimentan con aire comprimido y se controlan mediante válvulas que reciben señales desde el PLC. Su construcción sencilla y su rapidez los hacen adecuados para entornos donde la limpieza y la facilidad de mantenimiento son prioritarias [24], [25].

Los actuadores hidráulicos se utilizan en aquellos casos donde es necesaria una fuerza elevada o una sujeción más firme; sin embargo, su aplicación suele limitarse en zonas con contacto directo con el producto alimenticio, debido al riesgo de fugas de aceite. La elección entre neumática e hidráulica debe considerar criterios como la fuerza requerida, la velocidad de respuesta, el nivel de precisión y las exigencias de higiene del proceso. En las líneas de empaquetado de leche se priorizan alternativas que faciliten la limpieza, minimicen superficies difíciles de desinfectar y reduzcan al máximo la posibilidad de contaminación por fluidos de potencia [26].

1.3.17 Aplicaciones en procesos alimentarios

La supervisión automática es muy útil en la industria de alimentos, pues permite no perder de vista los procesos y encontrar problemas antes de que causen estragos. Al empacar leche, este sistema verifica que cada envase contenga la porción justa, que esté bien cerrado y que la limpieza sea impecable, disminuyendo así la posibilidad de contaminación y facilitando el seguimiento del producto [27].

a. Características del empacado de leche

Al empacar leche, es indispensable ser muy estricto con la limpieza, la exactitud y el sellado de los envases. Esto es fundamental para que el consumidor reciba un producto impecable, sin riesgo de que esté contaminado y con la cantidad justa en cada empaque. La automatización ayuda a mantener estos requisitos en cada etapa, optimizando el trabajo y reduciendo equivocaciones además generar confianza al tratarse de sistemas muy bien diseñados.

La automatización se convierte en un elemento clave para asegurar la repetitividad del proceso, disminuir la variabilidad humana y mantener la calidad constante en cada ciclo de producción. Los sistemas automatizados permiten monitorear de manera continua parámetros como temperatura de sellado, nivel de llenado, presión de cierre y velocidad de operación. Cuando estas variables permanecen dentro de los rangos óptimos, se garantiza un empaque homogéneo, seguro y confiable, lo que a su vez fortalece la imagen de la marca y genera confianza en el consumidor final

b. Tipos de máquinas empacadoras usadas en la industria láctea

En el sector lechero, se usan diferentes tipos de envasadoras, según el empaque y cuánto se produce. Hay máquinas horizontales o verticales, que llenan por gravedad o presión, sellando con calor o ultrasonido. Estas máquinas buscan llenar justo y sellar bien los envases, cuidando la calidad y seguridad del producto [13].

c. Equipos y tecnología recomendada para el empacado de leche

Para que el envasado de leche sea mejor, es bueno usar equipos con dosificadores, sensores de nivel y válvulas automáticas. Usar sistemas de llenado aséptico es clave para mantener la calidad y evitar que se contamine. La tecnología moderna ayuda a evitar errores al instante, hacer más eficiente el trabajo y perder menos producto lo cual genera beneficios a la empresa en los que se usen [12].

d. Sistemas de visión artificial o pesaje automatizado

Usar visión artificial al envasar ayuda a encontrar errores en los envases, como sellos o etiquetas mal puestas, mejorando el producto final. Además, el pesaje automático

asegura que cada envase tenga la cantidad correcta de leche, evitando errores humanos y cumpliendo con los estándares de calidad y cumpliendo así con los requerimientos y especificaciones esperados por parte de la empresa [13].

1.3.18 Proceso de diseño de un prototipo

Para iniciar la creación de un modelo de prueba para un sistema de vigilancia o monitoreo automático para un determinado proceso de producción, lo primero que se debe hacer es comprender qué necesita el proceso y qué debe hacer el sistema. Después, se especifican las partes del sistema, como los detectores, los elementos que actúan y los que dirigen, y se crea un esquema inicial para ensayar cómo se comporta el sistema. Este esquema debe poder copiar las situaciones verdaderas del proceso, lo que posibilita verificar si funciona bien antes de ponerlo en marcha definitivamente [28].

1.3.19 Controlador lógico programable S7 1200

El PLC S7-1200 es un controlador lógico programable que se puede armar por partes, es pequeño y se puede ampliar, lo que facilita la programación de sistemas de control automático. Esta tecnología es adecuada para pequeñas y medianas empresas por su alto procesamiento, conectividad y fácil integración. Permite una productividad estable y escalable, ajustada a los criterios de producción y al crecimiento de la demanda. [29]. En la Figura 4 se muestra un Controlador lógico programable S7 1200



Figura 4. Controlador lógico programable S7 1200

Características principales:

- **Modularidad:** Es posible agregar módulos de comunicación, control y entrada/salida a medida que se necesiten.
- **Programación:** TIA Portal es un programa para la automatización, permite programarlo, simularlo y corregir errores antes de su utilización.
- **Conectividad:** Tiene Ethernet incorporado como puertos de comunicación, por lo que se puede conectar a HMI, sensores, actuadores, redes industriales y otros aparatos sin problemas.
- **Funciones superiores:** Facilita la vigilancia en distancias largas, el control PID, también PROFINET, la comunicación y todo lo relacionado con funciones de seguridad.

1.3.20 Bandas transportadoras

Los sistemas de bandas transportadoras son herramientas esenciales para el traslado constante de artículos y materiales dentro de cualquier entorno industrial. Están formados por una banda sin fin que se mueve gracias a rodillos y un motor, permitiendo un transporte ágil, seguro y eficaz. Al optimizar el uso del personal, estas bandas hacen más sencillo el trabajo y mejoran el rendimiento en las líneas de producción [30]. En la Figura 5 se muestra una banda transportadora.



Figura 5. Banda transportadora

Existe una amplia variedad de bandas transportadoras, diseñadas para cargas ligeras o pesadas, facilitando el manejo de materiales en planos horizontales, inclinados o curvos. Se utilizan en sectores como la manufactura, alimentación, logística y minería. La automatización, mediante sensores, aumenta la precisión en la detección y el control del movimiento de los productos, gracias a los controladores lógicos programables (PLC) [30].

1.3.21 Tipos de bandas según carga, velocidad y dirección

Las bandas transportadoras se clasifican según la carga que deben soportar, la velocidad de transporte y la trayectoria requerida en la planta. Para envases ligeros como bolsas o cajas de leche se utilizan generalmente bandas de material sintético con estructuras de soporte livianas. En cambio, para cargas más pesadas o entornos exigentes se requieren diseños reforzados con rodillos y bastidores robustos [31].

Además, en el diseño del sistema de transporte se debe definir si el movimiento de los productos será horizontal, en pendiente o con cambios de dirección, lo que puede hacer necesario incorporar bandas con guías laterales o superficies especiales que eviten el deslizamiento de los envases. En el sector lácteo se priorizan soluciones que aseguren un flujo continuo de recipientes y reduzcan atascos, ya que las detenciones afectan la eficiencia global y el cumplimiento de los tiempos de proceso.

1.3.22 Fabricación y ensayos de prototipos funcionales

Para lograr un prototipo operativo, resulta fundamental seleccionar adecuadamente los componentes, integrarlos de forma correcta y desarrollar la programación del sistema de control. Una vez completado el montaje, se llevan a cabo pruebas rigurosas para verificar que el conjunto funcione, medir su desempeño y comprobar que realmente responde a los requisitos establecidos. Estas verificaciones son esenciales para asegurar que el sistema se comporte adecuadamente en condiciones reales de trabajo y que tenga la capacidad de ajustarse a posibles variaciones durante el proceso de empaquetado [32].

1.3.23 Conceptos empleados en la Industria 4.0

La llamada Industria 4.0 se sustenta en la integración de tecnologías avanzadas como la automatización, la inteligencia artificial y la conectividad digital dentro de los procesos industriales. En este contexto, el Internet de las Cosas (IoT) desempeña un papel fundamental, ya que permite que los dispositivos se comuniquen entre sí a través de la red, favoreciendo el intercambio de información. Aplicadas al envasado de leche, estas herramientas permiten la supervisión continua de equipos, el análisis detallado de datos y la optimización progresiva de los procedimientos operativos [10].

1.3.24 Beneficios de integrar estas tecnologías en procesos de control y monitoreo

La integración de tecnologías IoT y las tecnologías de la Industria 4.0 al empacado ayuda a potenciar la eficacia del trabajo, acortar las pausas, perfeccionar el uso de la energía y asegurar la excelencia del producto final. La constante obtención de datos ayuda a notar errores a tiempo y a predecir el mantenimiento, lo que aumenta la confianza en el sistema y garantiza que cada envío de leche envasada cumpla con los requerimientos de calidad necesarios [33].

1.3.25 Sistemas ciber físicos en la industria alimentaria

Los sistemas ciber físicos integran componentes físicos como máquinas y sensores con modelos digitales, redes de comunicación y software de control. En el contexto de Industria 4.0 se consideran la base para fabricar de forma más flexible y conectada, ya que permiten supervisar procesos, tomar decisiones automáticas y adaptar la producción a cambios en la demanda.

En la industria de alimentos los sistemas ciber físicos se aplican para seguir en tiempo real la condición de equipos, trazabilidad de lotes y parámetros de calidad. Esta integración aumenta la transparencia sobre lo que ocurre en la planta y facilita demostrar el cumplimiento de normas sanitarias. [34].

1.3.26 Materiales admitidos en proceso alimentario para bandas transportadoras

Las cintas transportadoras que tienen contacto directo con los alimentos deben ajustarse a normativas estrictas sobre materiales aptos para uso alimentario, tanto en Estados Unidos como en la Unión Europea. Dichas regulaciones establecen que sus componentes no pueden liberar sustancias que comprometan la salud ni alterar el olor, el sabor o la apariencia del producto..

En plantas lácteas el uso de este tipo de bandas facilita la limpieza, limita la acumulación de residuos y contribuye a cumplir con sistemas de gestión de inocuidad como ISO 22000 y programas HACCP [31].

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema automatizado de monitoreo para el proceso de empacado de leche en la empresa El Cortijo

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el proceso actual de empacado de leche en la empresa El Cortijo
- Evaluar la tecnología y equipamiento para el desarrollo del sistema automatizado de monitoreo para el proceso de empacado de leche
- Diseñar un prototipo funcional del sistema automatizado de monitoreo para el proceso de empacado de leche
- Fabricar un prototipo funcional del sistema automatizado de monitoreo para el proceso de empacado de leche El Cortijo.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

En las Tabla 1 y 2 se especifican los materiales y el software que se emplearon para el monitoreo, construcción y control del sistema de empacado de leche, ofreciendo una explicación exhaustiva de los componentes empleados en el desarrollo del sistema.

Tabla 1.Materiales

Materiales	Descripción
Perfil estructural de acero inoxidable (2x2 pulgadas)	Base de la estructura, resistente e higiénico.
Rodillos	Facilitan el movimiento de la banda.
Rodamientos	Reducen fricción y desgaste en rodillos.
Soportes niveladores	Ajustan y estabilizan la estructura.
Banda transportadora de PVC grado alimenticio	Transporta envases con inocuidad.
Motorreductor 1/4 HP 60 RPM	Da torque y velocidad controlada.
Poleas	Transmiten movimiento a la banda.
Cadena	Conecta motor y rodillos.
PLC básico	Controla y automatiza el proceso.
Sensor de proximidad	Detecta presencia de envases.
Pantalla HMI	Muestra datos y permite control del sistema.
Fuente de alimentación 24VDC	Alimenta PLC y sensores.
Botonera y cables eléctricos	Permiten control manual y conexión.
Sensores de color	Identifican etiquetas o envases.
Actuador lineal	Mueve o posiciona envases.
Tres bisagras de acero inoxidable	Dan movilidad a puertas o tapas.
Plancha de acero inoxidable (0.2 ml)	Superficies higiénicas de la estructura.
Electrodos de acero inoxidable	Para soldadura de uniones.
USB	Carga programas y respalda datos.

Tabla 2. Software

Software	Descripción
Tía Portal V17	Programa de automatización industrial para simular procesos.
AutoCAD	Programa para diseñar, modelar en 2D y 3D.
CADESIMU	Simuladores virtuales de circuitos eléctricos

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación

Enfoque

El enfoque de esta investigación fue de naturaleza mixta, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. Desde un punto de vista cuantitativo, se llevó a cabo la recolección y análisis de datos medibles relacionados con los tiempos de empaque, la frecuencia de errores, la eficiencia de la maquinaria y los parámetros del sistema automatizado. Esto posibilitó la identificación de fallos, períodos improductivos y permitió comparar el rendimiento actual con los estándares de producción y calidad.

Por otro lado, el enfoque cualitativo ofrece la oportunidad de observar directamente el entorno operativo, las condiciones del proceso y la interacción del personal con el sistema de empaque. Esto permitió una comprensión más profunda de los factores tanto humanos como técnicos involucrados, así como de las limitaciones o necesidades que no son evidentes en los datos cuantitativos. La integración de ambos enfoques permitió una evaluación integral del proceso y respaldaron de manera sólida el diseño e implementación del sistema automatizado de monitoreo.

Se utilizaron las siguientes formas de investigación con el propósito de presentar una propuesta de solución a la problemática planteada. El objetivo de este proyecto de investigación fue aplicar de forma práctica los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Industrial para abordar problemas reales en el sector productivo. En este caso, se enfocó en el análisis y perfeccionamiento del proceso de empaque de leche en la empresa El Cortijo, a través de la propuesta e implementación de un sistema automatizado de monitoreo.

Se utilizó una metodología de enfoque mixto, combinando herramientas cuantitativas para la recolección y análisis de datos sobre eficiencia, errores y tiempos de operación, junto con métodos cualitativos que permitieron observar y entender el entorno laboral y las interacciones humanas. Este enfoque integral hizo posible una evaluación más exhaustiva del proceso y de las oportunidades de mejora.

Se buscó robustecer la capacitación laboral creando una herramienta técnica que ayudará a regular, mejorar y rastrear el proceso de embalaje, lo cual aumentaría la calidad y la eficiencia del trabajo dentro de la compañía.

Investigación bibliográfica documental

La investigación documental brindó un saber extenso sobre tecnologías de automatización, supervisión industrial y procedimientos correctos en el empaquetado de productos líquidos. Se revisaron textos especializados, informes académicos, reglas de calidad alimentaria, manuales técnicos de maquinaria, registros de datos académicos y sitios web oficiales de creadores de sistemas automatizados.

Este camino bibliográfico fue clave para entender el avance actual en sistemas de supervisión, detectar instrumentos tecnológicos que se adapten al ambiente de producción de El Cortijo, y fijar criterios técnicos y regulatorios para el esquema del sistema. Asimismo, se encontraron carencias y demandas comunes en la automatización de trámites parecidos, lo que ayudó a precisar mejor la recomendación.

Investigación aplicada

Este proyecto se desarrolló con un propósito muy práctico: crear y poner en marcha un modelo de sistema automatizado para supervisar el envasado de leche. Se pusieron en práctica los conocimientos adquiridos en la universidad sobre automatización, control industrial, sensores, diseño CAD, neumática e instrumentación.

Entre las tareas realizadas, se eligieron y configuraron PLC’s, sensores de presencia, temperatura y caudal. También se diseñaron los paneles eléctricos, se programó el sistema de control y se creó una interfaz HMI (Human-Machine Interface) para ver todo en tiempo real. La idea es ofrecer una herramienta eficaz, segura y fiable para controlar el proceso, aumentando la productividad y disminuyendo los errores humanos.

Investigación experimental

En la fase experimental, se evaluó el rendimiento del proceso de envasado actual en la empresa, detectando puntos débiles, registros manuales inexactos y falta de

seguimiento en algunas fases. Mediante pruebas controladas y mediciones en el lugar, se obtuvieron datos importantes que sirvieron de base para el diseño técnico del sistema automatizado.

Los resultados de las pruebas no solo confirmaron que era necesario modernizar el proceso, sino que también ofrecieron información valiosa sobre las condiciones reales de trabajo, lo que permitió adaptar el diseño del prototipo a la realidad de la planta. Esto dará a la empresa una herramienta útil que contribuirá a la mejora continua y a la toma de decisiones basadas en datos.

2.2.2 Recolección de información

En el proyecto, se hizo una búsqueda exhaustiva de información, consultando fuentes de confianza como trabajos de grado, publicaciones científicas, manuales de expertos, libros del área y páginas web de organizaciones importantes. Esta etapa de documentación nos ayudó a entender los principios teóricos y los últimos avances en la automatización industrial aplicada al proceso de empaque, sentando una base firme para crear el sistema de monitoreo.

Dentro de la investigación, analizamos tecnologías clave como sensores, PLC's, interfaces HMI y protocolos de comunicación industrial, lo que simplificó la elección correcta de componentes y métodos de control. La información reunida nos permitió justificar cada decisión técnica basándonos en investigaciones anteriores, evitando conjeturas y asegurando la consistencia del diseño.

Más adelante, llevamos a cabo una valoración crítica de los datos recopilados, confirmando su utilidad y descartando aquellos que no cumplían con los requisitos de calidad y aplicabilidad al contexto del proyecto. Esta limpieza fue fundamental para prevenir interpretaciones equivocadas y asegurar la imparcialidad del análisis. 22

Luego, creamos diagramas eléctricos, de conexión y de flujo utilizando el programa CADE SIMU, lo cual facilitó la representación visual de la estructura del sistema automatizado. Además, usamos el entorno de programación TIA Portal V 17 para simular y configurar el funcionamiento del sistema, examinando variables esenciales.

Las simulaciones consideraron diferentes situaciones de funcionamiento, lo que nos permitió comprobar la resistencia del sistema ante posibles errores o cambios en la operación. Los resultados obtenidos se registraron detalladamente, identificando los puntos fuertes y débiles del diseño. Esta documentación técnica sirvió de apoyo para hacer mejoras en la lógica de control, ajustar parámetros y garantizar que el sistema cumpla con los estándares de calidad y eficiencia definidos por la empresa el Cortijo.

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos

Para el diseño del sistema automatizado de monitoreo, se realizó un análisis detallado del proceso actual de empacado de leche en la empresa El Cortijo. Se identificaron las etapas críticas del empacado manual, los puntos de control existentes, el flujo del producto y los tiempos de operación, mediante observación directa, entrevistas con operarios y revisión de registros históricos de producción y fallas.

Se recopilaron datos sobre el rendimiento del equipo, frecuencia de errores (como excesivo personal en el proceso o fallas de sellado y tiempos de parada del proceso). Esta información permitió reconocer la falta de monitoreo en tiempo real y la escasa trazabilidad de incidencias, elementos clave que justifican la necesidad de un sistema automatizado que ayude a mejorar la eficiencia, reducir mermas y asegurar la calidad del empacado.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se realiza un análisis de la planta de forma que detalla de forma adecuada la situación del proceso actual de empacado de leche.

3.1 Procesos de producción de El cortijo

3.1.1 Leche

La leche es un producto de origen animal que se considera uno de los más completos en términos de nutrición para los seres humanos, dado que proporciona proteínas de alta calidad, grasas, azúcares, vitaminas y minerales esenciales, incluyendo el calcio. Su mezcla la hace indispensable para el crecimiento y fortalecimiento de los huesos y dientes, así como para el funcionamiento adecuado del cuerpo en su totalidad. Aparte de su importancia nutricional, la leche sirve como base para la producción de una amplia gama de productos lácteos, como quesos, yogures y mantequilla, lo que la posiciona como un componente clave en la dieta y en la industria alimentaria global.

3.1.2 Proceso productivo

El proceso de producción de la leche inicia en el mismo lugar donde se obtiene: el ordeño. En esta etapa, la leche recién extraída pasa por un filtrado inicial y un enfriamiento inmediato que permite conservar su frescura y evitar el crecimiento de microorganismos. Estas acciones tempranas son fundamentales para asegurar que la leche llegue en condiciones óptimas al siguiente paso del recorrido.

Una vez transportada a la planta de procesamiento, la leche entra en un ciclo más técnico que incluye estandarización, pasteurización y homogeneización. Cada fase tiene un propósito claro: garantizar la seguridad del producto, mejorar su estabilidad y asegurar que tenga una textura uniforme. Gracias a estos procedimientos, la leche que finalmente llega al consumidor conserva su calidad, sabor y propiedades nutricionales.

En la Figura 6 apreciamos de forma adecuada el diagrama de flujo del proceso productivo de la leche.

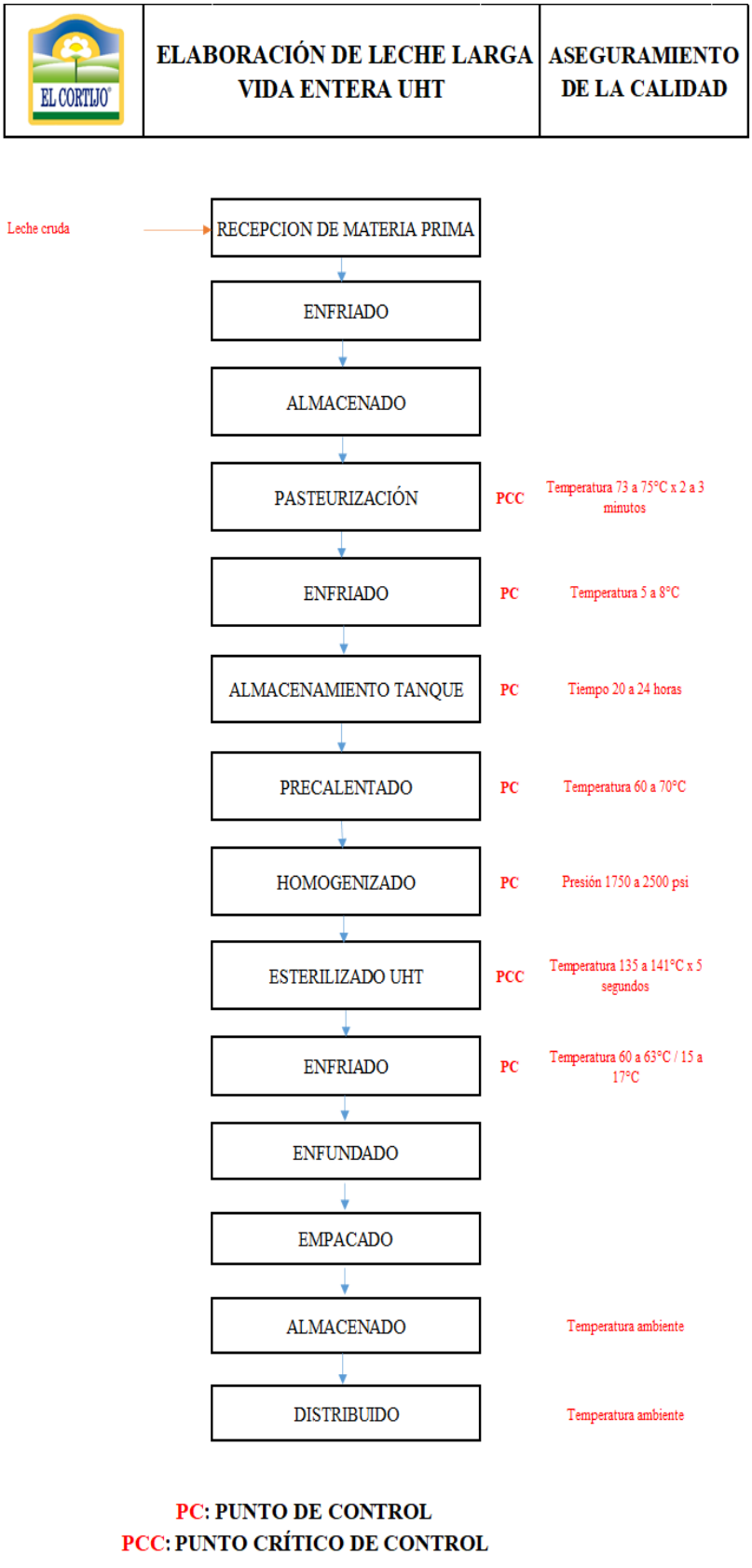


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso productivo de la leche

3.1.3 Recepción de materia prima

El recorrido inicia a partir de la recepción de la materia prima. En la Figura 7 se puede apreciar que la descarga de la leche cruda es receptada directamente desde los camiones recolectores con la ayuda de mangueras y tubos de plástico para facilitar el trabajo de descarga en la planta el Cortijo.



Figura 7. Recepción de la materia prima

3.1.4 Proceso de pasteurización

Desde el punto de recepción de materia prima la leche cruda es dirigida mediante tubería de acero inoxidable hacia una marmita la cual se encarga del proceso de pasteurización en la que se trabajan con temperaturas de 73 a 75 grados centígrados por un tiempo estimado de 2 a 3 minutos seteados en el punto de control como se observa en la Figura 8.



Figura 8. Proceso de pasteurización

3.1.5 Almacenamiento de leche pasteurizada

La leche pasteurizada es almacenada en tanques de acero inoxidable grandes, esta actividad requiere de un tiempo estimado de 20 a 24 horas como se observa en la Figura 9.



Figura 9. Tanque de almacenamiento de leche pasteurizada

3.1.6 Proceso de homogeneizado

Después de cumplido ese tiempo pasa por procesos de precalentado en la que se ocupan temperaturas de 60 a 70 grados centígrados pasando luego al proceso de homogeneizado empleando presiones de entre 1750 a 2500 Psi como se aprecia en la Figura 10.



Figura 10. Proceso de homogeneizado

3.1.7 Proceso de esterilizado UHT

Luego entra al proceso de esterilizado UHT en la que se ocupan temperaturas entre 135 a 141 grados segundos por 5 segundos como se puede observar en la Figura 11.



Figura 11. Proceso de esterilizado UHT

3.1.8 Proceso de envasado de la leche

Hay que esperar para que la leche esterilizada alcance temperaturas entre 15 a 17 grados centígrados para dirigir la misma a la máquina de enfundado y empaquetado en la cual se da la orden de entregar productos de 900 ml y 1000 ml como se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Proceso de envasado

3.1.9 Proceso de empacado de la leche

Para posteriormente ser almacenado en cuartos a temperatura ambiente y en bolsas plásticas que contengan las mismas unidades que son contabilizadas manualmente como se puede observar en la Figura 13.



Figura 13. Almacenamiento de empaques

3.1.10 Proceso de distribución de paquetes de leche

Para el proceso final se emplean cartones de color blanco para que su distribución se lleve a cabo de manera más eficiente y segura como se lo observa en la Figura 14, hacia los puntos de distribución con las que cuenta la planta el Cortijo.



Figura 14. Preparación para el proceso de distribución

3.2 Proceso de envasado actual de la leche

Este apartado se basa en la última etapa de producción de la leche, en la que se efectúa el llenado de los envases de leche disponibles generados por la maquinaria disponibles en la planta. En la Figura 15 se ve de forma adecuada cómo se generan los envases disponibles de leche que posteriormente serán empacados en fundas plásticas.



Figura 15. Proceso productivo de empacado de la leche.

3.3 Proceso de empacado actual de envases de leche

Este proceso se ejecuta principalmente por personal laboral de la empresa el cual cuenta la cantidad de envases de leche que van a ser empacados, para este proceso la empresa utiliza fundas plásticas y el sellado de las mismas se lo hace manual empleando un nudo simple cómo se puede observar en la Figura 16.



Figura 16. Proceso de empacado actual de envases de leche

3.4 Proceso de monitoreo y registro de producción actual

Para este punto la empresa lleva registros que se hacen a mano en hojas lo que pueden derivar en problemas debido a que por cualquier motivo humano los registros en ocasiones tienen errores de faltantes o excedentes. En la Figura 17 se puede apreciar el formato de monitoreo y registro con el que cuenta actualmente la empresa El Cortijo, esto varía dependiendo de la producción que se genera día con día.

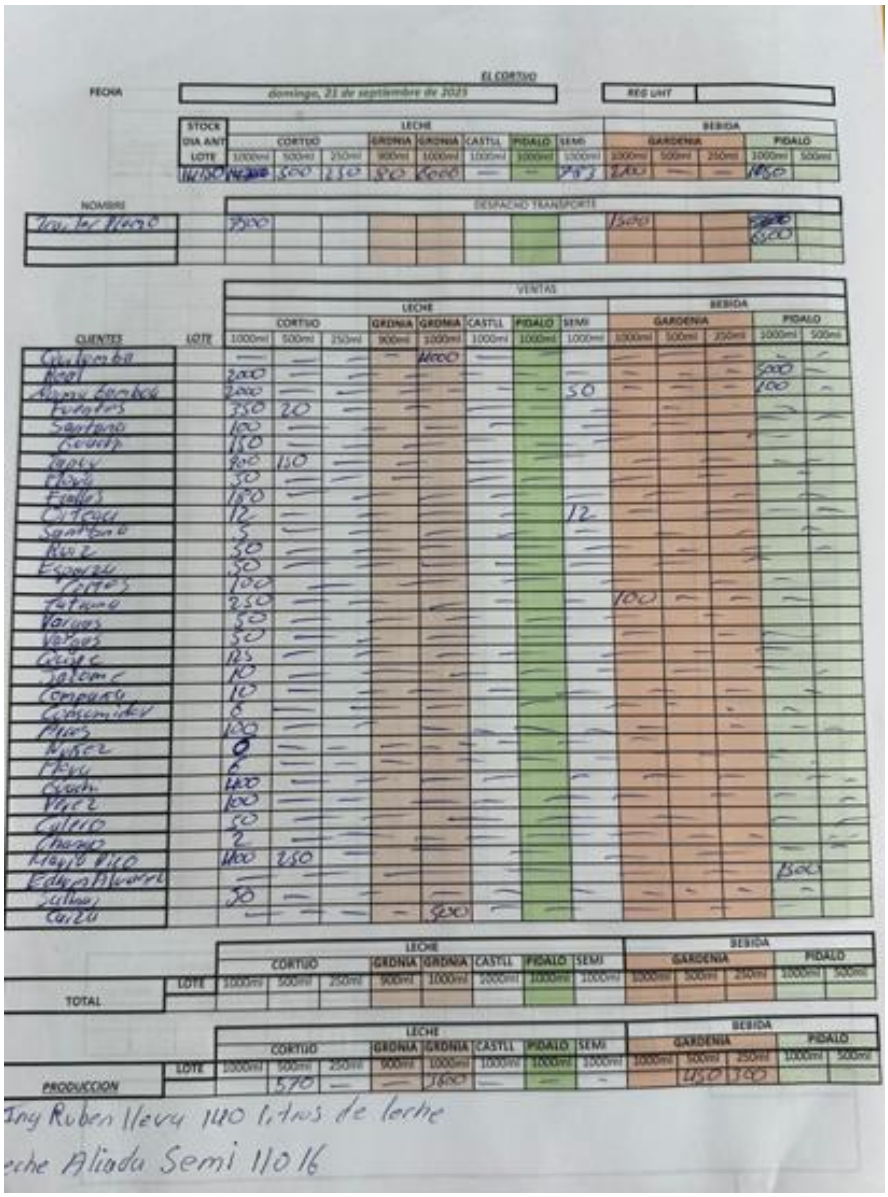


Figura 17. Proceso de monitoreo y registro de producción actual

3.5 Datos recolectados acerca de la planta de producción

Para determinar la capacidad que tiene la empresa se realiza una entrevista al gerente de la empresa el cual indica que la capacidad nominal con la que cuentan es de 50000 a 100000 unidades de empaques de leche, además que la producción diaria de la misma es de 20000 unidades por día. La entrada principal de leche cruda es de 50000 litros los cuales son receptados directamente de los camiones encargados de proveer la materia prima, además hay que considerar las pérdidas por derrame o evaporación de la leche a lo largo del proceso de producción.

En cuanto a la salida que tiene producto y de acuerdo con la respuesta del gerente manifiesta que su mercado cubre zonas de la costa, sierra y oriente además de surtir al conocido supermercado nacional llamado Tía en total 20000 productos entre leche y otros productos que genera la planta de producción El Cortijo. Además, se argumenta que el proceso productivo de la leche cuenta con un cuello de botella el cual corresponde al conteo de los empaques justamente en el proceso de empacado de los envases de leche, el cual significa un problema debido a que se realiza el conteo por método manual lo cual implica pérdida de tiempo.

Aplicadas al envasado de leche, estas herramientas permiten la supervisión continua de los equipos involucrados en el proceso productivo. Además, facilitan un análisis detallado de los datos operativos. Esta información contribuye a la optimización progresiva de los procedimientos, mejorando la eficiencia, el control y la confiabilidad del sistema.

3.6 Tiempos de empacado de envases de leche

A través de observación y medición a través de un cronómetro se pudo estimar el tiempo que se demora el empacado de los envases de leche de 1000 ml. Hay que considerar además que este trabajo lo realiza el personal laboral considerando el ritmo del trabajador, distracciones, pausas por cansancio y debido a ello los tiempos pueden variar, para lo cual los tiempos medidos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Tiempos de empacado de envases de leche

Presentación / Tiempo (s)	1000 ml
Tomar envases	12
Contar envases	20-25
Colocar en la funda	25
Hacer nudo en la funda	25
Total	**82-87**

Estos tiempos se deben a variaciones en la posición del operario y su coordinación manual al tomar los envases desde la banda transportadora. El rango de conteo se ajusta según la ejecución del operario. Para el empaque, se considera la correcta manipulación y el posicionamiento del envase. Finalmente, el operario dedica tiempo adicional al aseguramiento del nudo para garantizar el sellado de la funda.

3.7 Reconocimiento de tecnologías y equipos para el prototipo

El proceso de empacado de envases de leche de 1000 ml inicia con el suministro de envases a una banda transportadora accionada por un motor trifásico. La velocidad de la banda es regulada mediante un variador de frecuencia, permitiendo un control preciso del movimiento. Sobre la estructura se emplean sensores con la finalidad de identificar la presencia de los envases de leche, se cuenta con un PLC Siemens además de emplear válvulas electroneumáticas, cilindros de doble efecto principalmente para las etapas de sellado de los empaques y para el direccionamiento de los envases de la selladora uno hacia la dos para de este modo controlar y monitorizar el funcionamiento de todo el prototipo.

Las principales operaciones para tener en cuenta en el prototipo es que los envases de leche son colocados en la parte inicial de la banda transportadora, así mismo el conteo, registro y sellado se desarrollan de manera automática con el uso de un PLC siemens.

3.8 Análisis de variables del proceso

En la Tabla 4 se detallan las variables que serán medidas y controladas dentro del sistema automatizado de monitoreo propuesto. Estas variables forman parte del prototipo desarrollado. Para cada variable se identifica su ubicación en el proceso, el equipo o elemento requerido para su medición y el tipo de señal que ingresa al PLC. Además, se especifica el intervalo de lectura considerado para garantizar un monitoreo adecuado del sistema.

Tabla 4. Lista de variables presentes en el prototipo

Variable	Ubicación de medida	Función	Equipo o elemento	Tipo de señal	Intervalo de lectura
Presencia de funda	Zona de lectura en banda	Disparar conteo de unidades	Sensor fotoeléctrico difuso	DI 24 V vía relé	Por evento
Conteo de fundas	Lógica PLC	Formar paquetes de 4	PLC	Variable interna	Por evento
Velocidad banda	VFD Omron 3G3XV	Estabilizar tiempo de llegada	Variador de frecuencia	DI Run /DI Default	2.5 -3 ms
Estado VFD (Variador de frecuencia)	Variador	Seguridad y diagnóstico	Contacto relé	DI 24 V	10–50 ms
Cilindro extendido	Prensa	Verificar prensado	Cilindro neumático	DI 24 V	10–20 ms
Cilindro retraído	Prensa	Verificar regreso	Cilindro neumático	DI 24 V	10–20 ms
Tiempo de prensado	Lógica PLC	Calidad de sellado	Temporizador	Variable interna	Por ciclo
Presión neumática	Línea neumática de prensa	Diagnosticar sellado	Fuente de aire (Compresor)	DI 24 V	10–50 ms
Paquetes por ciclo	PLC	Trazabilidad mínima	Contador	Variable interna	4 por minuto

3.9 Parámetros de operación necesarios

Para responder a las exigencias del dueño de la empresa El Cortijo lo cual conlleva empacar 4 envases de leche de 1000 ml por paquete es necesario apegarse a parámetros de operación que permitan llevar a cabo cada una de las operaciones en el prototipo. En la Tabla 5 se presentan los parámetros de operación necesarios para cumplir con lo propuesto que pueden ser ajustados dependiendo de los requerimientos de la puesta en marcha al momento de ejecutar las pruebas de funcionamiento del prototipo.

Tabla 5. Parámetros de operación inicial del prototipo

Parámetros	Valor inicial	Explicación de ajuste
Filtro anti-rebote sensor	100–120 ms	Evita reconteo por brillo
Ventana anti doble lectura	200 ms	Bloquea segundos pulsos
Conteo por empaque	4 unidades	Genera empaque listo
Tiempo de expansión/ retracción del cilindro	250 ms / 250 ms	Alarmas si el cilindro se queda pegado
Tiempo en prensa	200–300 ms	Aumentar si hay aperturas
Presión neumática	5.5–6.5 bar	Estabilidad del prensado
Velocidad banda (VFD)	25–35 Hz	Generar movimiento estable mientras se realiza ajustes

3.10 Equipos o instrumentos que pueden ser empleados

Para el desarrollo del prototipo se consideran tres alternativas para cada equipo o instrumento fundamental, necesarias para garantizar su correcto funcionamiento. A continuación, se presentan las tres opciones correspondientes mediante tablas comparativas.

3.10.1 Controladores Lógicos Programables (PLC)

En la Tabla 6 se realiza la comparación entre características de tres opciones de PLC fundamentales para decidir qué CPU utilizar en función del nivel de complejidad del sistema, la necesidad de entradas/salidas, la expansión futura o las condiciones del entorno. Para efectos del proyecto, la selección de un modelo debe considerar tanto los requerimientos funcionales como la escalabilidad y la compatibilidad con módulos adicionales [35].

Tabla 6. Características generales de PLC´s

Ilustración			
Parámetro	**Especificación A**	**Especificación B**	**Especificación C**
Fabricante	Siemens AG	Siemens	Siemens
Modelo exacto	CPU 1214C DC/DC/RLY (6ES7 214-1HG40-0XB0)	DC/DC/RLY (6ES7212-1HE40-0XB0	Siemens S7-1200 CPU 1211C DC/DC/RLY
Entradas / Salidas	14 DI (24VDC) / 10 DO relé (2 A máx.) / 2 AI (0-10 V)	8 DI / 6 DO relé / 2 AI	6 DI / 4 DO relé

Memoria	50 KB RAM / 4 MB Flash	25 KB	20 KB
Comunicación	Profinet / Modbus TCP	Profinet	Profinet
Alimentación	24 V DC	24 V DC	24 V DC
Montaje	Carril DIN 35 mm	Carril DIN 35 mm	Carril DIN 35 mm
Temperatura de trabajo	–20 °C a +60 °C	–20 °C a +80 °C	–10 °C a +50 °C
Protección	IP20	IP20	IP20
Costo estimado (USD)	589	450	350
Ventajas	Expansible, relés integrados, confiable	Económico	Bajo costo, fácil de integrar
Desventaja	Costo medio–alto	Pocas E/S; no ideal para expansión futura	Muy limitado; solo para pruebas pequeñas

3.10.2 Sensores

La Tabla 7 presenta una comparación técnica entre tres sensores de proximidad utilizados comúnmente en aplicaciones industriales, destacando sus diferencias en modelo, rango de detección, tipo de salida, nivel de protección, frecuencia de respuesta y alimentación. La Especificación A corresponde a un sensor M18 económico con amplio rango ajustable y salida NPN, adecuado para tareas básicas de detección. La Especificación B, de la marca Omron, ofrece mayor robustez y precisión, integrando construcción en latón niquelado y opciones de salida PNP/NPN seleccionable, lo que incrementa su versatilidad en entornos industriales exigentes [36]. Finalmente, la Especificación C, de Autonics, proporciona una distancia de detección superior, aunque requiere cuidados adicionales por su sensibilidad a reflejos en superficies plásticas.

Tabla 7. Características generales de sensores

Ilustración			
Parámetro	**Especificación A**	**Especificación B**	**Especificación C**
Modelo	Sensor M18 NPN 6–36 V DC	Omron E3F2-DS30C4	Autonics BEN300-DFR
Rango de detección	10–80 cm ajustable	30 cm	30–300 mm
Salida	NPN colector abierto 100 mA	PNP/NPN seleccionable	PNP/NPN seleccionable
Protección	IP65	IP67	IP65

Frecuencia de respuesta	1 kHz	1 kHz	1 kHz
Alimentación	12 V DC	24 V DC	5V DC
Material	Plástico ABS	Latón niquelado	Plástico ABS reforzado
Costo estimado (USD)	16	60	85
Ventajas	Económico, confiable, simple instalación	Marca premium, robustez industrial	Alta distancia útil
Desventajas	Sin ajuste fino analógico	Precio alto, configuración más compleja	Sensible a reflejos en fundas plásticas

3.10.3 Motores

La Tabla 8 compara tres tipos de motores utilizados en aplicaciones industriales, mostrando diferencias en potencia, velocidad nominal, nivel de protección y costo. La Especificación A representa un motor robusto de 1 HP adecuado para entornos industriales tradicionales; la Especificación B corresponde a un motor genérico IE2 de 2 HP que destaca por su eficiencia y facilidad de reemplazo; mientras que la Especificación C es un motor Wash Down diseñado para ambientes sanitarios gracias a su protección IP66–IP69K [37]. Esta comparación permite identificar la opción más adecuada según los requisitos de operación, entorno y presupuesto del sistema.

Tabla 8. Características generales de motores

Ilustración			
Parámetro	**Especificación A**	**Especificación B**	**Especificación C**
Modelo	Louis Allis 1 HP 220/440 V 3Φ	Motor genérico IE2 0.75 kW	Motor Wash Down 0.75 kW
Potencia	1 HP	2HP	1HP
Voltaje	220/440 V AC	230/400 V	230/400 V
Velocidad nominal	1750 RPM	1450 RPM	1500 RPM
Corriente nominal	3.2 A / 1.6 A	3.2 A / 2 A	3.6 A / 1.6 A
Protección	IP55	IP55	IP66–IP69K
Costo estimado (USD)	205	170	320
Ventajas	Construcción industrial robusta	Eficiencia IE2, fácil de reemplazar	Ideal para entornos sanitarios

Desventajas	Requiere VFD para control preciso	Torque menor, vibración media	Costo elevado para prototipo educativo o proyecto

3.10.4 Variadores de frecuencia (VFD)

La Tabla 9 presenta una comparación de tres variadores Omron de la familia 3G3XV, todos de 0.75 kW, que se diferencian principalmente por la cantidad de entradas y salidas disponibles, las funciones de control incorporadas y su nivel de protección. Mientras la Especificación A destaca por su diseño compacto y confiable, la Especificación B incorpora mayor capacidad de programación, haciéndola adecuada para sistemas más complejos; por su parte, la Especificación C añade funciones de frenado integradas, resultando ideal para procesos que requieren paradas rápidas [38].

Tabla 9. Características generales de variadores de frecuencia

Ilustración			
Parámetro	**Especificación A**	**Especificación B**	**Especificación C**
Modelo	Omron Sysdrive 3G3XV-A4007-E	Omron 3G3XV con I/O ampliada	Omron 3G3XV con freno
Potencia nominal	0.75 kW (1 HP)	0.75 kW (1 HP)	0.75 kW (1 HP)
Entrada / Salida	3Φ 380–460 V	8 / 2 relés programables	12 entradas y 8 salidas de relé en una sola unidad.
Frecuencia de salida	0.1–400 Hz	0.1–400 Hz	0.1–400 Hz
Control	V/f (Voltaje-Frecuencia)	V/f programable	V/f programable
Protecciones	Sobrecorriente, falla a tierra	Sobretensión, sobrecarga térmica	Sobretensión, sobrecarga térmica
Costo estimado (USD)	475	550	600
Ventajas	Compacto, robusto y confiable	Más entradas programables	Ideal para sistemas con parada inmediata
Desventajas	Sin comunicación RS485 integrada	Precio mayor, sin mejoras críticas	Exceso para banda pequeña

3.10.5 Fuentes de alimentación

En la Tabla 10 se compara tres fuentes de alimentación de 12 V seleccionadas por su uso común en sistemas de automatización. La Especificación A, de la marca Mean Well, destaca por su confiabilidad industrial y buena eficiencia, mientras que la Especificación B representa una alternativa económica y de fácil adquisición, aunque con protecciones limitadas y menor rendimiento térmico. Por su parte, la Especificación C ofrece una mayor capacidad de corriente y niveles de protección más completos, resultando adecuado para aplicaciones que requieren mayor potencia o estabilidad eléctrica [39].

Tabla 10. Características generales de fuentes de alimentación

Ilustración			
Parámetro	**Especificación A**	**Especificación B**	**Especificación C**
Modelo	**Mean Well LRS-150-12**	**S-120-12**	**LRS-200-12**
Entrada	110/220 V AC	12 V	12 V / 16.5 A
Salida	12 V DC / 12.5 A	10 A	12 V / 16.5 A
Protecciones	OVP, OCP, OTP, SCP	Básica	OVP, OCP, SCP
Eficiencia	85 %	80 %	89 %
Costo estimado (USD)	19.8	30.1	28
Ventajas	Alta confiabilidad, uso industrial	Fácil de conseguir	Mayor reserva de potencia
Desventajas	No modular ni plug-in	Menor eficiencia térmica	Sobredimensionada sistemas pequeños

3.10.6 Relés

La Tabla 11 presenta una comparación general entre relés electromecánicos tradicionales y un relé de estado sólido (SSR). Las Especificaciones A y B, pertenecientes a las series MY2N-J y LY2N-J de Omron, ofrecen configuraciones DPDT confiables y económicas, adecuadas para señales de control en sistemas industriales estándar. La Especificación C, correspondiente a un SSR de 24 V DC, destaca por su rapidez de conmutación y ausencia de partes móviles, lo que reduce el desgaste mecánico; sin embargo, su costo es mayor y requiere consideraciones térmicas [40].

Tabla 11. Características generales de relés

Ilustración			
Parámetro	**Especificación A**	**Especificación**	**Especificación**
Modelo	**Omron MY2N-J 24 VDC**	**Omron LY2N-J 24 V DC**	**c. SSR 24 V DC**
Tipo	DPDT (2 contactos)	DPDT	Estado sólido
Bobina	12 V DC	24 V DC	5 A
Capacidad	10 A - 250 VAC	10 A - 250 VAC	5 A a 24–240 DC
Indicador LED	Sí	Sí	Sí
Base	PYF08A	PYF08A / PTF08A	PYF08A / PTF08A
Costo estimado (USD)	4.1	6.0	12.0
Ventajas	Compacto, confiable y económico	Versión estándar para PLC 24 V	Sin partes móviles
Desventajas	Ninguna relevante	Incompatible con sensores 12 V DC	Calienta, precio mayor

3.10.7 Válvulas electroneumáticas

La Tabla 12 compara tres válvulas electroneumáticas de configuración 5/2 de doble solenoide empleadas en sistemas de automatización neumática. Las Especificaciones A y B presentan válvulas de conexión estándar de 1/4”, con presiones y tiempos de respuesta adecuados para aplicaciones comunes de control de actuadores [41]. La Especificación C, al ser de mayor capacidad y contar con conexión de 3/8”, ofrece un caudal superior de hasta 1300 L/min, lo que la hace más adecuada para cilindros de gran desplazamiento o procesos que requieren velocidades de actuación más altas.

Tabla 12. Características generales de válvulas electroneumáticas

Ilustración			
Parámetro	**Especificación A**	**Especificación B**	**Especificación**
Modelo	**LG-1 24 V DC**	**4V220-08**	Válvula 5/2 alta capacidad 3/8″
Tipo	5/2 doble solenoide	5/2 doble solenoide	5/2 doble solenoide
Conexión	1/4″	1/4″	3/8″
Presión trabajo	1.5–8 bar	0.15–0.8 MPa	0.1–1 MPa

Caudal	800 L/min	800-1200 L/m	1300 L/min
Tiempo de respuesta	< 0.05 s	0.05 s	0.03-0.05 s
Protección	IP65	IP65	IP65
Costo estimado (USD)	22	25	40
Ventajas	Rápida, compacta y duradera	Amplia disponibilidad	Alto caudal

3.10.8 Cilindros neumáticos

En la Tabla 13 se muestran tres configuraciones neumáticas basadas en la norma ISO 15552, diferenciadas por su diámetro, tipo de acción y capacidad de fuerza. Las dos primeras especificaciones corresponden a cilindros de doble efecto con diámetros de 40 mm y 32 mm, adecuados para aplicaciones que requieren control bidireccional y esfuerzos moderados; mientras que la tercera corresponde a un cilindro de simple efecto de mayor diámetro (50 mm), capaz de generar fuerzas superiores, pero con mayor demanda de caudal [41].

Tabla 13. Características generales de cilindros neumáticos

Ilustración			
Parámetro	**Especificación**	**Especificación**	**Especificación**
Modelo	ISO 15552 Ø40×100 mm	ISO 15552 Ø32×80 mm	ISO 15552 Ø50×100 mm
Tipo	Doble efecto	Doble efecto	Simple efecto
Presión	1–10 bar	1–10 bar	1–10 bar
Fuerza	754 N - 6 bar	480 N - 6 bar	1178 N - 6 bar
Carrera	100 mm	80 mm	100 mm
Material	Aluminio anodizado	90	120
Costo estimado (USD)	105	Más liviano y rápido	Fuerza alta, robusto
Ventajas	Tamaño ideal, precisión en prensado	Menor fuerza; insuficiente para packs grandes	Requiere más caudal y válvula más grande

3.11 Evaluación y estudio comparativo de opciones tecnológicas

La selección de la mejor solución tecnológica para el sistema de monitoreo del proceso automatizado de envasado de leche depende de una comparación metódica de diversas configuraciones posibles. Cada opción presenta conjuntos distintos de sistemas

eléctricos, neumáticos y de control, cuyo rendimiento repercute directamente en la fiabilidad, la seguridad, la precisión de conteo, la durabilidad y la simplicidad operativa del prototipo. Este estudio comparativo ayudó a determinar no solo las capacidades funcionales de cada arquitectura, sino también en qué medida satisfacen los requisitos reales del proceso industrial de la empresa El Cortijo.

3.11.1. Matriz descriptiva de las configuraciones

Los criterios técnicos previamente definidos incluyen la precisión de medición, la fiabilidad operativa y los requerimientos de mantenimiento de cada alternativa evaluada. Asimismo, se consideran la compatibilidad eléctrica, la facilidad de uso y los costos asociados a cada configuración. Estos criterios permiten realizar una comparación técnica estructurada entre las diferentes opciones disponibles. El análisis contempla sistemas optimizables, configuraciones mixtas y soluciones económicas o educativas[42]. Este enfoque facilita la identificación clara de ventajas y desventajas técnicas de cada alternativa. De esta manera, se establece una base técnica sólida para la selección de la configuración que servirá como plataforma del prototipo.

Por lo tanto, en la Tabla 14 se presenta de manera general una descripción general de las 3 configuraciones consideradas para la fabricación del prototipo.

Tabla 14. Descripción general de las tres opciones consideradas

Configuración	Descripción general	Componentes principales
Opción A: Sistema optimizable	Solución optimizable con equipos confiables de alta durabilidad y compatibilidad entre 12V y 24V.	• PLC Siemens S7-1200 • VFD Omron 3G3XV • Motor Louis Allis 1 HP • Sensores M18 NPN • Válvulas 5/2 FNA-105976 • Cilindro Ø40×100 • Relés Omron MY2N-J • Fuente LRS-150-12
Opción B: Sistema mixto	Alternativa de costo medio usando equipos de marcas mixtas de gama media.	• PLC Delta DVP14SS2 • VFD Delta VFD007E21A • Sensor Autonics BEN300 • Motor IE2 0.75 Kw • Válvulas 4V220-08 • Cilindro Ø32×80.
Opción C: Sistema económico	Prototipo educativo con microcontrolador Arduino Mega 2560 + módulos reguladores y sensores básicos.	• Arduino Mega + Shield I/O • Sensores infrarrojos FC-51 • Relés SSR 24 V • Motor genérico 0.75 kW sin VFD • Válvula 24 V genérica 3/2

3.11.2. Matriz comparativa basada en criterios

Es necesario comparar de forma cualitativa cada una de las opciones para considerar una mejor selección de los equipos y sistemas con finalidad de elegir a la mejor opción. En la Tabla 15 se presenta el análisis comparativo de las tres opciones consideradas, empleando criterios cualitativos [43].

Tabla 15. Matriz comparativa basada en criterios

Criterio	Opción A	Opción B	Opción C
Precisión de medición	Muy alta (PLC+ sensores IP65)	Alta (buena respuesta Autonics)	Media (dependiente de sensor analógico)
Confiabilidad	Muy alta (componentes Siemens-Omron)	Alta (marcas mixtas)	Baja (sensores básicos)
Facilidad de uso	Media (TIA Portal gráfico)	Media (WPL Soft Delta)	Alta (Arduino IDE)
Durabilidad ambiental	Muy alta (IP65 – IP67)	Alta (IP54)	Media (IP40 máx.)
Mantenimiento	Bajo (marcas comunes en la industria)	Medio (componentes de distribuidor)	Medio-Alto (requiere fabricación artesanal)
Compatibilidad eléctrica	Excelente (12 / 24V estandarizado)	Buena (24V puro)	Limitada (5V lógica – 24V potencia)
Escalabilidad	Muy alta (módulos SM / CM)	Media (límites de I/O)	Baja (límites de memoria)
Seguridad industrial	Integrada (contactos relé y protecciones VFD)	Parcial (no paros seguros)	Nula (sin protecciones eléctricas)

3.11.3. Matriz de decisión ponderada

Para la selección objetiva de la mejor alternativa tecnológica se emplea una matriz de evaluación ponderada. En esta matriz, a cada criterio se le asigna un porcentaje según su importancia en el proceso de fabricación. Cada alternativa recibe un peso relativo, de manera que la suma total de ponderaciones corresponde al 100 %. Posteriormente, las alternativas se califican en una escala del 1 al 5, donde 5 representa un cumplimiento excelente y 1 un cumplimiento inaplicable. En la Tabla 16 se presenta la escala de calificación utilizada para la evaluación de cada alternativa [44].

Tabla 16. Escala de calificación

Calificación	Significado
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Aceptable
2	Deficiente
1	Inaplicable

En la Tabla 17 se presenta los pesos otorgados a cada criterio con su respectiva calificación, esto se realiza para cada una de las tres opciones disponibles.

Tabla 17. Peso de cada criterio y calificación de cada opción

Criterio	Peso (%)	Opción A	Opción B	Opción C
Confiabilidad	25	5	4	3
Precisión	20	5	4	3
Facilidad de uso	15	4	4	5
Costo	15	3	4	5
Mantenimiento	15	5	4	3
Durabilidad	10	5	4	2

En la Tabla 18 se presenta la matriz ponderada con sus respectivos porcentajes totales de las tres opciones.

Tabla 18. Matriz de decisión ponderada

Criterio	Peso (%)	Opción A	Opción B	Opción C
Confiabilidad	25	5	4	3
Precisión	20	5	4	3
Facilidad de uso	15	4	4	5
Costo	15	3	4	5
Mantenimiento	15	5	4	3
Durabilidad	10	5	4	2
Puntaje total ponderado (%)	**100 %**	**91 %**	**80 %**	**70 %**

Al obtener estos porcentajes, en la Tabla 19 se presenta la opción ganadora y la que se emplea para la construcción del prototipo.

Tabla 19. Opción A (Sistema optimizable)

Criterio	Descripción	Calificación (%)	Justificación técnica
Confiabilidad	Capacidad del sistema para operar sin fallas.	25	Factor crítico en producción continua; evita paradas no planificadas.
Precisión	Exactitud en las mediciones y conteos.	20	Garantiza la calidad del sellado y el control del número de fundas.
Facilidad de uso	Simplicidad de operación y programación.	12	Reduce errores del operador y tiempo de aprendizaje.
Costo	Inversión total requerida en equipos.	9	Determina la viabilidad económica del proyecto.
Mantenimiento	Frecuencia y costo de intervenciones preventivas o correctivas.	15	Afecta la disponibilidad del sistema en planta.
Durabilidad	Resistencia de los equipos al ambiente industrial (humedad, polvo).	10	Factor clave en entornos lácteos, donde hay humedad y lavado constante.
Total		**91 %**	

La opción A (Sistema optimizable) obtiene una puntuación del 91%, la más alta según el análisis cuantitativo realizado mediante la matriz de evaluación ponderada, lo que la posiciona como la mejor opción para el desarrollo del prototipo del sistema de monitorización automatizada. Su excelente rendimiento en cuanto a fiabilidad, precisión y durabilidad son criterios fundamentales para garantizar un funcionamiento constante en un entorno industrial de procesamiento de envases de leche. Si bien su precio es razonable, su larga vida útil, su total compatibilidad con los equipos actuales de la planta y su capacidad para incorporar futuras ampliaciones del sistema, como sensores de peso, presión y temperatura, hacen que la inversión valga la pena.

En cambio, la Opción B (Sistema mixto), con un 80%, es una solución adecuada para entornos o proyectos con presupuesto medio, pero no ofrece la misma robustez ni la fiabilidad necesarias para un prototipo funcional de este calibre. Por otro lado, la Opción C (Sistema económico o educativo) obtiene un 70%, destacando por su coste y simplicidad, si bien presenta importantes inconvenientes en cuanto a seguridad eléctrica, precisión de medición y resistencia a entornos húmedos o con altas exigencias operativas. En base a estos resultados, la Opción A se consolida como la solución ganadora, ya que combina una gran eficiencia técnica, estabilidad operativa y capacidad de crecimiento para la construcción del prototipo funcional propuesto por la empresa El Cortijo.

3.11.4. Matriz de comparativa de lenguajes de programación

El lenguaje de Ladder es bueno para describir cómo funcionan las cosas en una planta de alimentos. Muchas de las personas que trabajan allí solían trabajar con electricidad y máquinas. Esto hace que la lógica de lectura sea intuitiva, incluso para el personal que no tiene una formación profunda en la programación tradicional. El texto estructurado (Structured Text) es ideal para programas de matemáticas y computadoras avanzadas, pero es como aprender un nuevo idioma, lo que hace más difícil entender y solucionar problemas rápidamente. El diagrama de bloques (Function block) de funciones es intermedio: es visual, pero cuando la lógica crece mucho más difícil de rastrear el flujo que en Ladder [45].

En la Tabla 20 se presenta la matriz comparativa de lenguajes de programación.

Tabla 20. Matriz comparativa de lenguajes de programación

Criterio	LD (Ladder)	ST (Structured Text)	FBD (Function Block)
Facilidad de comprensión para técnicos de planta	Alta	Media–Baja	Media
Similaridad con esquemas eléctricos	Muy alta	Nula	Baja
Velocidad de diagnóstico de fallas	Alta	Media	Media
Soporte en PLC industriales educativos	Muy extendido	Muy extendido	Extendido
Adecuación a lógica secuencial / enclavamientos	Muy adecuada	Adecuada	Adecuada
Curva de aprendizaje inicial	Suave	Más pronunciada	Intermedia
Claridad para representar señales discretas	Muy alta	Media	Alta
Necesidad de conocimientos de programación "clásica"	Baja	Alta	Media

3.11.5. Matriz de limitaciones y ventajas

En la Tabla 21 se presenta de manera clara las ventajas y desventajas de cada lenguaje de programación.

Tabla 21. Matriz de limitaciones y ventajas

Tipo de tarea / requisito	LD (Ladder)	ST (Structured Text)	FBD (Function Block)
Secuencias de arranque/parada	Muy favorable	Favorable	Favorable
Manejo de enclavamientos y seguridades	Muy favorable	Favorable	Favorable
Tratamiento de señales digitales (sensores ON/OFF)	Excelente	Bueno	Muy bueno
Cálculos matemáticos complejos	Aceptable	Muy favorable	Favorable
Mantenimiento por parte de personal de planta	Muy sencillo	Más complejo	Intermedio
Depuración en tiempo real	Visual y rápida	Requiere leer código	Visual, pero puede volverse denso
Documentación y ejemplos en aplicaciones reales	Muy abundante	Abundante, pero más orientada a ingenieros	Abundante

Justificación de selección de lenguaje de programación

El proyecto utiliza un sistema que empaqueta envases de leche automáticamente. El sistema controla cómo se empaca la leche utilizando señales que muestran cuando las fundas de leche están listas, cuántos paquetes están en grupo y cuándo encender las máquinas que hacen el empacado. El lenguaje Ladder es bueno para tareas que

necesitan usar diferentes condiciones. Puede mostrar cada condición como un circuito de relé, que es una forma de conectar interruptores y luces [45].

La forma en que funciona Ladder ayuda a las personas que arreglan las máquinas a ver qué hay de malo con cada parte y cómo arreglarlo. Pueden ver si las partes se cierran, si las bobinas funcionan, y si los temporizadores funcionan. Cuando algo sale mal, esto hace que sea más rápido para averiguar lo que está mal y solucionarlo. También hace que sea más fácil hacer las correcciones sin necesidad de la persona que escribió el programa original [45].

Otro aspecto importante es la seguridad para mantener la planta de alimentos seguro, necesitamos comprobar la parada de emergencia, cerraduras y protecciones. En Ladder, se puede ver exactamente qué contactos hacen que una salida funcione y cuando un problema detiene la secuencia lógica. Esta es una manera de comprobar y enseñar sobre seguridad debido a esto el lenguaje seleccionado es el Lenguaje Ladder.

3.11.6. Matriz comparativa de plataformas de monitoreo

En la Tabla 22 se puede apreciar que en el ámbito del monitoreo industrial, Node-RED, Grafana y ThingsBoard responden a propósitos diferentes. Node-RED se presenta como una herramienta low-code muy versátil, concebida para conectar dispositivos, APIs y servicios mediante flujos gráficos, incorporando además funciones de automatización de manera sencilla. Grafana, por su parte, se orienta principalmente a la representación avanzada de información que ya ha sido registrada en bases de datos u otras fuentes, ofreciendo paneles muy potentes para el seguimiento de métricas y series de tiempo. ThingsBoard introduce un nivel mayor de complejidad, al plantearse como una plataforma IoT diseñada para administrar numerosos dispositivos, aplicar reglas de negocio y construir paneles de visualización desde una consola centralizada [46].

Tabla 22. Matriz comparativa de plataformas de monitoreo

Criterio	Node-RED	Grafana	ThingsBoard
Tipo de herramienta	Herramienta low-code de programación por flujos para integrar y automatizar datos	Plataforma de visualización y dashboards para métricas, logs y trazas	Plataforma IoT para recolección, procesamiento, visualización y gestión de dispositivos

Uso principal	Conectar dispositivos, APIs y servicios, procesar datos y automatizar	Mostrar datos ya almacenados en distintas fuentes	Gestionar muchos equipos IoT y sus datos a nivel servidor
Interfaz	Editor web de bloques y "cables" (flujos) visuales	Dashboards gráficos con paneles configurables	Consola web con menús de dispositivos, reglas y dashboards
Código necesario	Bajo: la mayoría se arma con nodos; a veces funciones en JavaScript	Poco código, pero requiere dominar consultas y fuentes de datos	Mezcla de configuración, reglas y algo de lógica
Complejidad de despliegue	Ligero, puede correr en un PC o en una Raspberry Pi	Suele ir acompañado de base de datos y otros servicios	Más pesado: servidor IoT completo, pensado para proyectos grandes

3.11.7. Matriz de selección de plataforma de monitoreo

En la tabla 23 se puede analizar que si se analizan estas plataformas desde el punto de vista de su viabilidad, se evidencia que la elección depende de las necesidades concretas del proyecto. Node-RED resulta especialmente atractivo cuando se requiere avanzar rápido, unificar en una sola herramienta la captura de datos, el procesamiento lógico y la visualización, y mantener una curva de aprendizaje accesible para técnicos o estudiantes. Grafana se ajusta mejor a escenarios en los que la infraestructura de datos ya está implementada y el objetivo principal es explorar y mostrar la información de forma clara y detallada. ThingsBoard se vuelve más conveniente cuando se busca desplegar una solución IoT integral [46].

Tabla 23. Matriz de selección de plataforma de monitoreo

Criterio de selección	Node-RED	Grafana	ThingsBoard
Facilidad para empezar desde cero	Alta	Media	Media–Baja
Tener en un mismo sitio: entrada, lógica y salida	Alta	Baja (solo salida visual)	Media (más dividido por módulos)
Claridad para entender el flujo de información	Alta (flujo gráfico)	Media (se ve el resultado final)	Media
Curva de aprendizaje para técnicos / estudiantes	Suave	Media	Más pronunciada
Necesidad de infraestructura adicional (BD, servidores)	Baja / moderada	Media	Alta
Adecuado para prototipos y pruebas de concepto	Muy adecuado	Adecuado como visor de datos	Más orientado a proyectos IoT grandes
Flexibilidad para crecer o integrar otros servicios	Alta	Alta en visualización	Alta, pero con más configuración

Justificación de selección de lenguaje de programación

Nodo-RED es la mejor opción porque combina varios aspectos: es gratis, es fácil de ver y no requiere que haga un gran sistema para obtener respuestas. Una herramienta de programación de secuencias es una forma de crear y gestionar flujos de datos en el navegador. Puede usarlo para arrastrar y conectar nodos, que son unidades de datos, y ver cómo intercambian información en tiempo real. IBM originalmente lo hizo y ahora un grupo de personas llamado OpenJS Foundation lo mantiene actualizado y lo soporta. Hay muchos nodos que se pueden utilizar para tareas y dispositivos comunes que utilizan el Internet de las Cosas [46].

Nodo-RED es una buena opción porque permite hacer monitoreo sin hacerlo demasiado difícil. Puede conectar dispositivos, hacer lógica y mostrar un panel, Pero también es fácil ver lo que está pasando en cada parte del proceso. En resumen, me permite centrarme en el comportamiento del sistema y no tanto en luchar con infraestructura o con código muy pesado por lo cual Node-RED es la mejor opción.

3.12 Diseño técnico general del prototipo

El modelo inicial del prototipo de empacado de leche se creó usando un enfoque de planificación completo que cubren las partes de la máquina, el armazón, cómo avanza el trabajo y la organización de las tareas de cada sección. Los papeles técnicos recopilados contienen dibujos a gran escala, diagramas detallados de las piezas y dibujos visuales de la trayectoria que sigue la leche a través del sistema de monitoreo.

3.12.1 Esquema general del sistema

En la Figura se muestra el esquema general del sistema de monitoreo evidenciando las entradas, el proceso de control y monitoreo y además las salidas hacia los actuadores y también hacia la interfaz de supervisión.

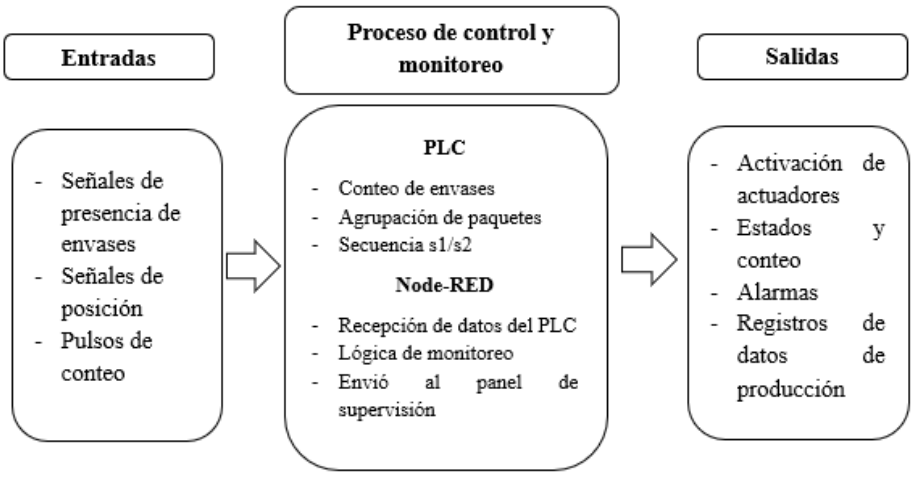


Figura 18. Esquema general del sistema

3.12.2 Planos del diseño en AutoCAD

En la figura 18 se observa el armazón mecánico central del modelo creado para la labor de envasado de la leche. Este módulo junta la base de metal, la banda de traslado y los anclajes operativos que facilitan el posicionamiento de los diversos detectores, motores y piezas de manejo. Su concepción obedece a normas de firmeza, facilidad de uso y capacidad de adaptación, aspectos vitales para asegurar que el modelo pueda imitar con exactitud las situaciones de trabajo de una planta industrial. Además, la organización espacial del esqueleto permite visualizar la relación entre las partes móviles y el desplazamiento del producto durante toda la secuencia operativa.

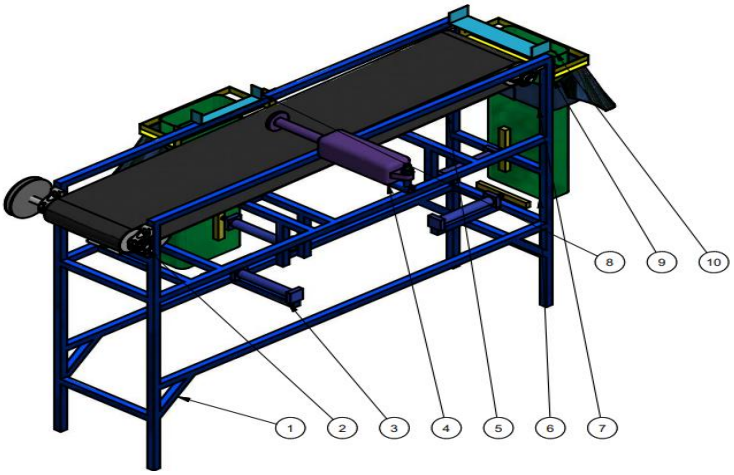


Figura 19. Planos del diseño general en AutoCAD

En el diseño de AutoCAD se observan diez partes del modelo, las que se nombran a continuación:

1. Estructura o esqueleto para la banda transportadora
2. Motor
3. Base o soporte para los cilindros neumáticos
4. Cilindro neumático
5. Base superior
6. Estructura de selladores
7. Estructura direccionadora 1 para los envases de leche
8. Estructura direccionadora 2 para los envases de leche
9. Cabezal de la tolva
10. Cuerpo de la tolva

Descripción de componentes esenciales

a. **Banda transportadora**

En la Figura 19 se presenta la banda transportadora del prototipo, con una longitud de 165 cm y un ancho de 35 cm. Estas dimensiones garantizan el desplazamiento uniforme de las fundas y de las cajas de leche durante el proceso de empaque, evitando detenciones. Este lleva una cinta hecha de polietileno, un plástico común en fábricas porque aguanta bien el roce, resbala poco y se limpia fácil. Dicha cinta está puesta sobre una estructura de acero al carbono, lo que le da firmeza, aguante y buen soporte mientras trabaja.

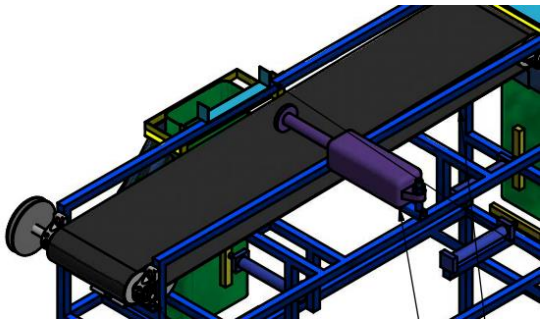


Figura 20. Banda transportadora

b. Cabezal y cuerpo de la tolva

En las Figuras 20 y 21 se presentan el cabezal y el cuerpo de la tolva, respectivamente. Esta estructura recibe y dirige los envases de leche hacia la banda transportadora. El sistema cuenta con dos depósitos fabricados en lámina galvanizada de 0,2 mm, material ligero y resistente a la corrosión. Cada depósito tiene 25 cm de ancho, 10,8 cm de fondo y 68 cm de longitud. Estas dimensiones permiten una correcta colocación de los envases, evitando desplazamientos o saltos durante el proceso de empaque.

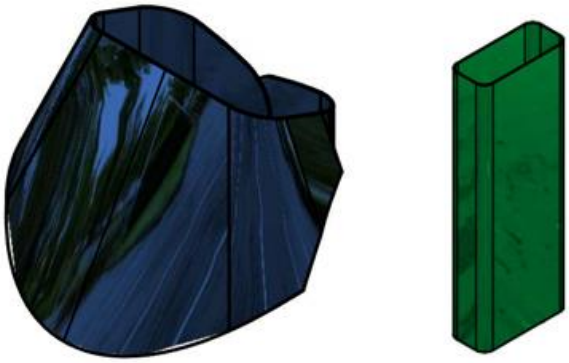


Figura 21. Cabezal y cuerpo de la tolva

c. Estructura de selladores

En la Figura 21 se observa la estructura que consta de cuatro pistones neumáticos y un grupo de termopares, los cuales se encuentran incorporados en cada contenedor, habiendo dos por cada uno; un pistón maneja el cierre vertical y horizontal. Operan en coordinación, obedeciendo las órdenes emitidas por el controlador lógico programable. Mediante este arreglo, es posible situar, sujetar y soltar las envolturas durante el procedimiento de empaquetado, garantizando que cada pieza avance adecuadamente hasta la zona de sellado.

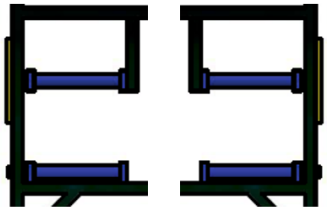


Figura 22. Estructura de selladores

d. Estructuras direccionadoras

En la Figura 22 se observa las estructuras direccionadoras de los envases de leche este prototipo cuenta con dos las cuales son encargadas de dirigir los envases de leche hacia las tolvas.

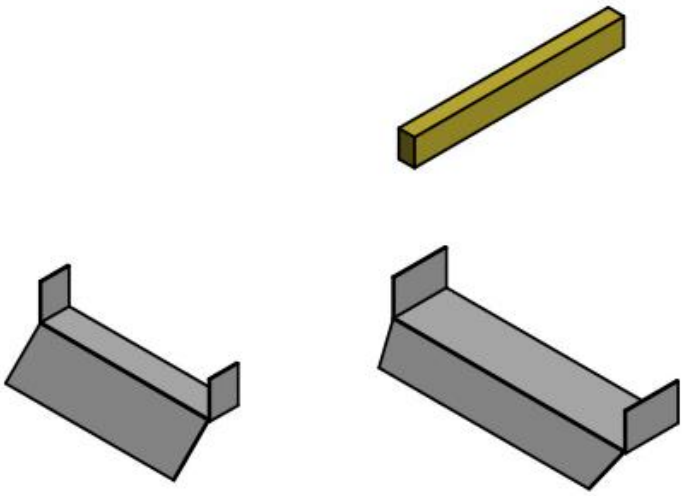


Figura 23. Estructuras direccionadoras

e. Cilindro neumático

En la Figura 23 se observa un cilindro neumático que cumple con la función de actuar para que los envases de leche se dirijan hacia la tolva número uno. El mismo que se activa tras recibir la señal de un sensor.

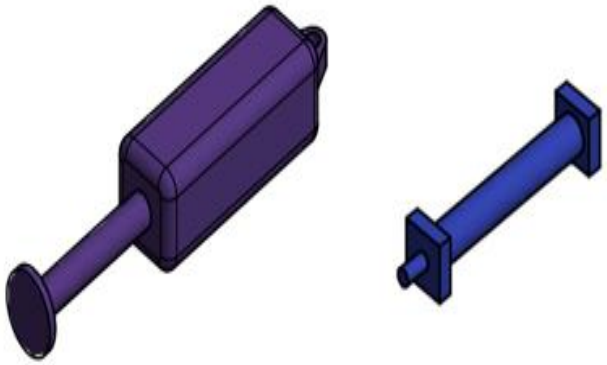


Figura 24. Cilindro neumático

f. Estructura o esqueleto

En la Figura 24 se observa que la estructura principal del prototipo está conformada por un armazón metálico construido principalmente con perfiles rectangulares de acero al carbono, ensamblados mediante un diseño que prioriza la estabilidad, rigidez y capacidad de carga. Su configuración en niveles permite soportar de manera segura los módulos de transporte, detección y sellado, manteniendo una alineación precisa entre todos los componentes.



Figura 25.Estructura principal del diseño en AutoCAD

3.13 Diseño eléctrico del sistema en Cade Simu

El diseño eléctrico del prototipo incorporó un sistema de automatización basado en un variador de frecuencia encargado de controlar un motor trifásico de 220 V, asegurando un ajuste preciso de la velocidad de la banda transportadora. La alimentación del variador se realizó mediante dos líneas y tierra, protegidas por un interruptor termomagnético que garantiza la desconexión segura ante sobre corrientes o fallas. A partir del variador, se generaron las tres fases necesarias para la operación del motor, permitiendo un control estable y eficiente del movimiento mecánico de acuerdo con los parámetros definidos en la programación. En la Figura 25 se muestra el diseño eléctrico completo del sistema en Cade Simu.

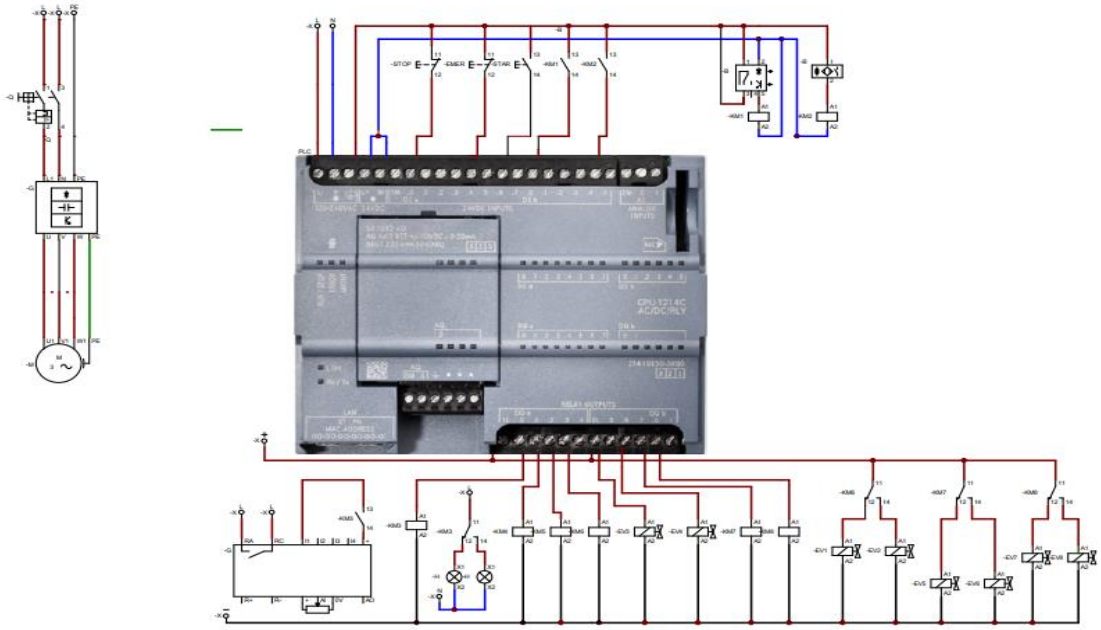


Figura 26. Diseño eléctrico completo en Cade Simu.

Para el sistema de control, se integró un PLC alimentado mediante una conversión de 110 V a 24 V, dado que sus entradas requieren corriente continua para su funcionamiento. Esta fuente regulada también suministró energía a los dispositivos de mando, como botones de arranque, parada y emergencia, así como a dos sensores óptico y fotoeléctrico que operan a 5 V. Debido a la diferencia de niveles eléctricos, se incorporaron relés de aislamiento y adaptación que permiten compatibilizar las señales de los sensores con la lógica de 24 V del PLC, garantizando una lectura estable y segura dentro del circuito de automatización.

En cuanto a las salidas del PLC, se configuraron relés destinados a controlar los distintos actuadores del sistema. Una de las salidas activa un relé principal que energiza el motor de la banda transportadora y los indicadores luminosos que señalan el estado operativo del prototipo. Otras salidas se asignaron al accionamiento de electroimanes encargados de mover mecanismos asociados al posicionamiento y clasificación de las fundas de leche. Finalmente, se incluyeron salidas específicas para el control de electroválvulas de uno y dos solenoides, empleando relés intermedios para asegurar su correcta activación conforme a la lógica programada. Con este conjunto de elementos se consolidó un sistema eléctrico robusto, seguro y completamente funcional.

3.17.1 Sensores de detección

El sistema de detección constituye la primera etapa del flujo automatizado, por lo que se seleccionaron sensores capaces de reaccionar rápidamente al paso de cada envase. Los sensores utilizados fotoeléctricos, infrarrojos o inductivos, dependiendo del material del envase cumplen las siguientes funciones:

Funciones principales

- Detección individual del envase: cada unidad que ingresa al canal es identificada mediante un pulso digital.
- Transmisión de señal al PLC: el sensor envía una señal limpia y estable hacia la entrada digital, activando el proceso de conteo.
- Minimización de interferencias: se ubicaron en puntos estratégicos para evitar activaciones falsas por vibraciones, reflejos o presencia simultánea de envases en el proceso.

Requerimientos de instalación

- Soportes rígidos para evitar desalineación.
- Distancia óptima entre sensor y línea de transporte.
- Protección del cableado ante humedad y manipulación.

Estos sensores permiten que el conteo sea consistente y repetible, condición fundamental para la automatización del proceso.

3.17.2 Controlador lógico programable

El PLC constituye el núcleo del sistema de control del prototipo. Su programación gestiona la lógica completa de operación, desde la lectura de sensores hasta la activación alternada de las selladoras. Entre sus funciones destacan:

Funciones ejecutadas por el PLC

- Registro de conteo individual: incrementa un registro interno por cada detección válida.
- Identificación automática del lote: al alcanzar cuatro unidades, el PLC determina que el lote está completo y habilita la secuencia de empacado.
- Activación alternada de selladoras: administra el funcionamiento secuencial de la Selladora 1 y Selladora 2 para simular producción continua.
- Comunicación con la HMI: envía datos de conteo, estados de actuadores, alarmas y temporizaciones.

Características del PLC en el prototipo

- Entradas digitales para sensores.
- Salidas digitales para actuadores y selladoras.
- Temporizadores y contadores internos.
- Conexión con interfaz HMI mediante protocolo industrial.

La robustez del PLC garantiza estabilidad y repetitividad en el flujo de operación del prototipo.

3.17.3 Interfaz HMI

La HMI constituye el módulo de supervisión del sistema. Su función es mostrar al operador el comportamiento del prototipo en tiempo real y permitir el diagnóstico de fallos.

Funciones de la HMI

- Visualización del conteo acumulado de envases y conteo por lote.
- Monitoreo del estado de las selladoras, indicando cuál se encuentra activa.
- Identificación de fallas o alarmas, tales como ausencia de detección o activaciones simultáneas incorrectas.
- Supervisión del tiempo de ciclo, asegurando consistencia con los 4 envases por minuto establecidos.

Ventajas operativas

- Mejora la interacción entre operador y sistema.
- Permite validar gráficamente la lógica de control implementada.
- Facilita las pruebas de campo y ajustes al proceso.

3.17.4 Selladoras del prototipo

El prototipo integra dos selladoras, cuya función es replicar el proceso industrial de sellado de fundas con grupos de cuatro envases. Su funcionamiento alternado permite simular producción continua sin interrupciones.

Características operativas

- Sellado térmico mediante resistencia integrada.
- Cada selladora recibe un lote de cuatro envases.
- El PLC determina cuál selladora se activa según la secuencia.

Objetivo dentro del prototipo

- Representar el proceso real donde se requiere sellar de forma continua.
- Validar el tiempo de ciclo y la calidad del sellado.
- Demostrar sincronización entre detección, conteo y accionamiento con el sistema de monitoreo.

3.17.5 Estructura esencial del prototipo

La estructura física sostiene todos los módulos mencionados y permite un flujo ordenado de los envases.

Componentes estructurales

- Base rígida capaz de soportar sensores, bandejas y selladoras.
- Canal o guía que mantiene alineados los envases para garantizar detección correcta.
- Zona de sellado diseñada para recibir el lote completo de cuatro unidades en cada tolva.
- Área de descarga donde se depositan los paquetes sellados.

Requerimientos de diseño

- Uso de materiales livianos pero resistentes.
- Espacios definidos para mantenimiento y ajustes.
- Alineación precisa entre módulos para evitar obstrucciones.

3.18 Funcionamiento operacional del prototipo

El funcionamiento operacional del prototipo se diseñó para reproducir la lógica completa del proceso industrial de empacado de leche, pero adaptada a la escala experimental de cuatro envases por minuto. La secuencia se ejecuta mediante la interacción entre el sistema de sensorización, el PLC, las dos selladoras, la HMI y la estructura física que guía el flujo de los envases. Cada fase del proceso refleja un comportamiento equivalente al del sistema industrial, garantizando que el prototipo no solamente cumpla con la funcionalidad, sino que además permita evaluar su desempeño en condiciones controladas. A continuación, se detalla el proceso operativo.

3.18.1 Fase 1: Ingreso de envases

El ciclo inicia con el ingreso de los envases al canal de detección. Este proceso puede realizarse de forma manual durante pruebas de validación o mediante un empuje mecánico que mantiene una velocidad constante. La alimentación uniforme del prototipo permite simular el comportamiento real del flujo de producción de la planta, donde los envases de leche llegan de manera continua desde la máquina envasadora. Para evitar atascos o variaciones en la distancia entre envases, el canal fue diseñado con guías laterales que reducen oscilaciones y mantienen un ordenamiento estable antes de la etapa de sensado. Esta fase es crucial, pues un flujo irregular podría alterar el conteo y el desempeño de las selladoras.

3.18.2 Fase 2: Detección individual

Cuando cada envase atraviesa la zona de sensorización, un sensor fotoeléctrico o infrarrojo detecta su presencia e inmediatamente genera un pulso digital hacia el PLC. La ubicación estratégica de los sensores alineados y a una distancia adecuada del canal

garantiza que no se produzcan lecturas dobles ni falsas detecciones por vibraciones o reflexiones, algo especialmente importante porque los envases pueden tener variaciones en textura o forma debido a la manipulación. Esta etapa constituye el corazón del sistema, ya que la exactitud del sensor define el conteo total y la integridad de la secuencia operativa.

3.18.3 Fase 3: Registro y conteo

Una vez que la señal del sensor llega al PLC, este incrementa un contador interno asociado al lote en curso. La lógica programada en TIA Portal permite filtrar rebotes, asegurar que cada pulso se contabilice una sola vez y actualizar inmediatamente la información en la HMI. De este modo, el operador puede visualizar en tiempo real cuántos envases han ingresado y cuántos faltan para completar el lote. Esta retroalimentación visual contribuye al monitoreo operativo y facilita la verificación del proceso durante las fases de prueba. Además, el PLC almacena temporalmente los datos para compararlos con los valores del ciclo anterior, garantizando consistencia entre los lotes.

3.18.4 Fase 4: Activación de la selladora 1

Si el ciclo corresponde a la Selladora 1, el PLC envía una señal a su módulo de actuadores, iniciando el proceso de sellado. La selladora recibe el lote de cuatro envases dentro de una funda pre-posicionada y ejecuta la acción térmica necesaria para cerrar el empaque. El tiempo de sellado se encuentra calibrado para garantizar una unión firme y evitar deformaciones o rupturas en el material plástico. Durante este ciclo, la HMI muestra en pantalla que la Selladora 1 está en operación y bloquea temporalmente cualquier orden que pueda interrumpir la acción, simulando de manera fiel el protocolo industrial de seguridad.

3.18.5 Fase 5: Activación de la selladora 2

Una vez que el segundo lote alcanza nuevamente las cuatro unidades, el PLC habilita la operación de la Selladora 2. Este mecanismo de alternancia garantiza que las dos selladoras trabajen de manera compensada, reduciendo tiempos de espera y simulando estrategias reales de balanceo de carga utilizadas en procesos industriales. La Selladora

2 ejecuta su ciclo de sellado bajo las mismas condiciones térmicas y de tiempo que la primera, asegurando uniformidad en la calidad del empaque. Además, la HMI refleja el estado de activación y muestra al operador información del tiempo restante del ciclo.

3.14 Diseño de control automatizado en TIA Portal

La parte encargada de manejar el funcionamiento del modelo de empaque de leche es el sistema de control, el cual se creó usando el programa Siemens TIA Portal. Esta incluye la configuración del controlador lógico programable, la secuencia de pasos del proceso y cómo se conecta con el sistema de vigilancia. Aquí se explica el diseño lógico, las piezas físicas utilizadas y el método de mando puesto en marcha para que el modelo trabaje por sí mismo.

3.14.1 Programación del control

a. Modo automático

En la Figura 27 se muestra el modo Automático, la banda transportadora avanza las unidades de leche una por una hasta un primer sensor que cuenta cuatro productos; cada unidad detectada activa un cilindro que la desvía hacia un camino lateral, y al completarse el grupo de cuatro, se accionan los cilindros inferiores para realizar el sellado y formado lateral de la funda. Una vez procesado este primer grupo, las siguientes unidades a partir de la quinta continúan por un segundo camino hasta un sensor final que vuelve a contar otro grupo de cuatro y ejecuta el mismo proceso de sellado. El sistema alterna así entre ambos caminos, garantizando un flujo continuo, ordenado y cíclico de empaque.

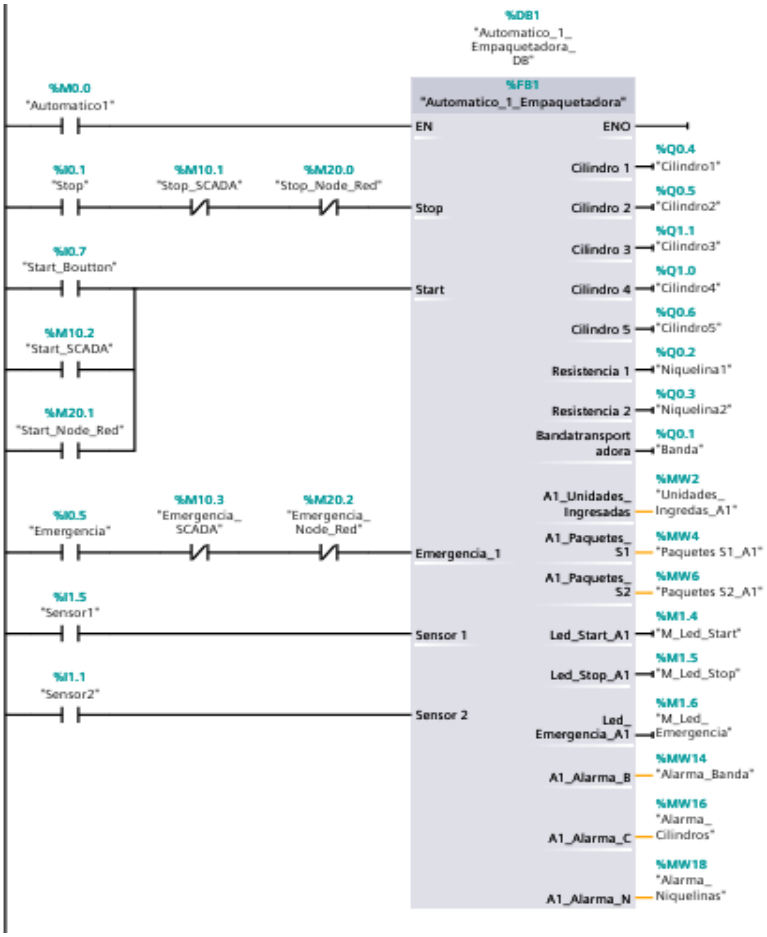


Figura 27. Programación del modo automático

En la Figura 28 se muestra la red de arranque del modo Automático. Aquí se ve cómo el contacto de inicio (#Start) debe cerrarse, mientras que el contacto de parada (#Stop) y el contacto de emergencia (#Emergencia_1) deben estar abiertos para permitir el arranque. Cuando todas estas condiciones se cumplen, se activa la marca #Marca1, que da inicio al ciclo automático.



Figura 28. Red de arranque del modo automático

En la Figura 29 se muestra como la #Marca1actua como el habilitador general del bloque de programación. Es decir, una vez que la #Marca1 se activa, todas las líneas y segmentos de la lógica del programa quedan habilitados para funcionar. En otras palabras, la #Marca1 es la condición inicial que permite que el resto de la secuencia del modo automático se ejecute.

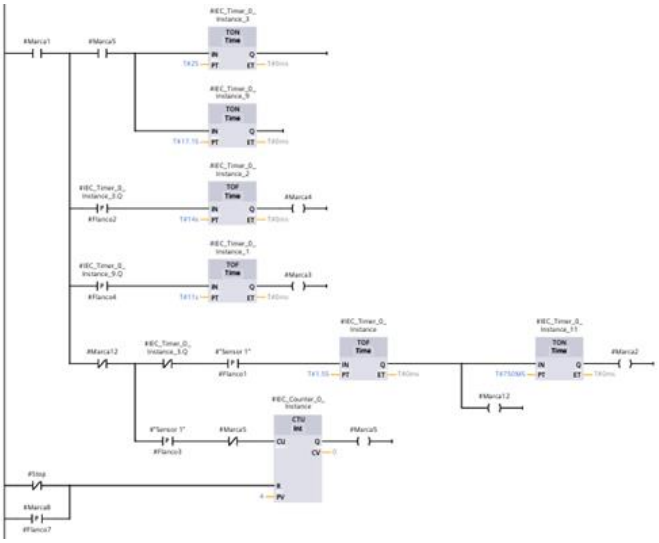


Figura 29. Habilitador general del bloque de programación.

En la Figura 30 se muestra que cuando la #Marca1 habilita el segmento, el proceso inicia con el pulso del sensor al detectar una unidad, activando un TOF de 1.5 s que, al finalizar, dispara un TON de 750 ms y la #Marca12; al cumplirse este tiempo, el TON activa la #Marca2, encargada de accionar el cilindro que desvía la unidad al camino lateral. Paralelamente, cada pulso del sensor incrementa el contador de la línea inferior hasta llegar a cuatro unidades, momento en el que la #Marca5 bloquea el conteo para evitar que se sumen unidades adicionales, ya que las siguientes deben dirigirse por el segundo camino. El reinicio del contador se realiza mediante el botón Stop o la #Marca8 al finalizar el ciclo, mientras que la #Marca12 permanece activa durante toda la operación del cilindro para evitar pulsos extras del sensor y así garantizar un conteo preciso.

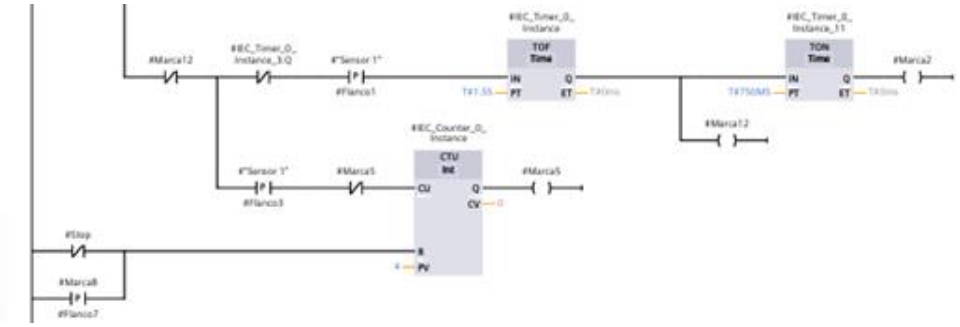


Figura 30. Activación del segmento con temporizadores

En la Figura 31 se muestra que la #Marca5 se activa al alcanzarse las cuatro unidades, esta señal habilita dos temporizadores adicionales: el TON1 y el TON2. El TON1 está configurado con un tiempo de 2 segundos y su función es activar la señal correspondiente al cilindro de sellado por el tiempo requerido. Por su parte, el TON2 tiene un tiempo de 17.5 segundos,

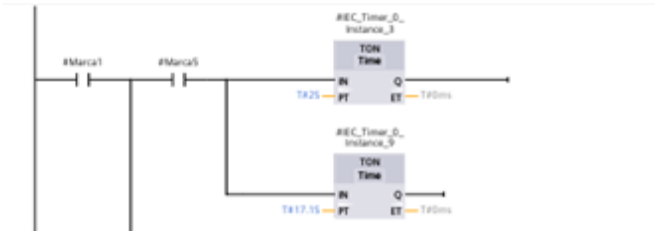


Figura 31. Activación de temporizadores adicionales

En la Figura 32 se muestra que TON1, configurado a 2 segundos, entrega su salida a un flanco positivo que activa un TOF encargado de generar un retardo preciso y, al finalizarlo, este TOF habilita la #Marca4 para accionar el cilindro de sellado en el momento exacto del ciclo. De forma similar, TON2 (17.5 s) envía su señal a otro flanco positivo que activa un segundo TOF con 11 segundos de retardo; una vez cumplido este tiempo, dicho TOF activa la #Marca3, responsable de accionar los cilindros laterales que conforman la funda, asegurando así un proceso coordinado y secuencial de sellado y formado.

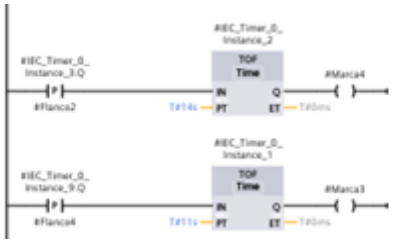


Figura 32. Activación de temporizador de desconexión

En la Figura 33 la #Marca1 indica que cuando el sistema activa el segundo camino, el sensor 2 detecta cada caja y su señal pasa por un flanco positivo que incrementa el contador hasta llegar a cuatro unidades, momento en el que se activa la #Marca8, indicando que el grupo está completo. Esto habilita dos temporizadores TON (2 s y 18 s) que coordinan el sellado y el conformado: el TON de 2 s activa un flanco que habilita un TOF de 14 s, cuya finalización activa la #Marca7 para el cilindro de sellado inferior; simultáneamente, el TON de 18 s activa otro flanco que habilita un TOF de 11 s, tras el cual se activa la #Marca6 para accionar los cilindros laterales. Al finalizar, la #Marca6 y la #Marca8 reinician sus respectivos contadores, permitiendo que el ciclo del segundo camino continúe de forma precisa, ordenada y completamente automatizada.

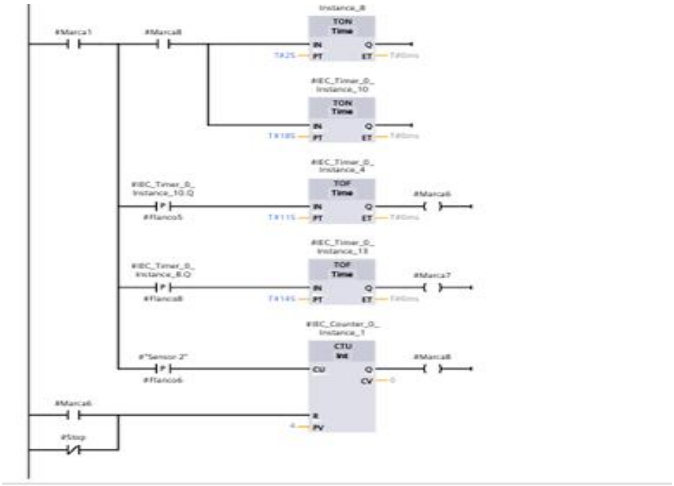


Figura 33. Activación de la segunda vía del proceso

En la Figura 34 se muestra la etapa final, donde las marcas activadas en las etapas anteriores ahora controlan las salidas físicas de los actuadores. Cada línea activa un cilindro o una resistencia específica cuando se cumplen las condiciones de las marcas.

Esto asegura que los cilindros se activen en el orden correcto para el sellado, el conformado lateral y el transporte de la banda

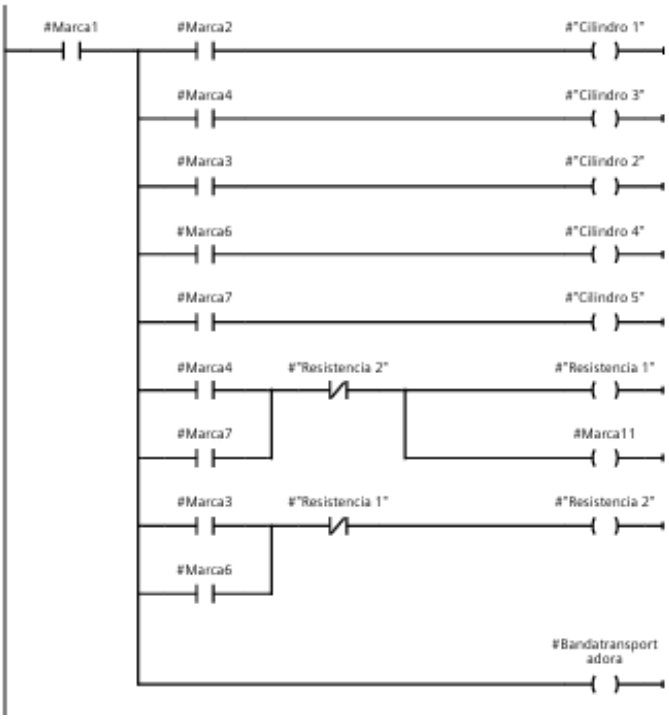


Figura 34. Programación de la etapa final

b. Modo manual

En la Figura 35 se muestra que en el modo Manual, el operador asume el control directo del proceso de empaque para realizar la primera funda sin intervención de la secuencia automática. A través de los cuatro cilindros encargados del sellado y del conformado lateral, el operador ejecuta manualmente las acciones necesarias para asegurar que la funda inicial quede correctamente alineada y formada. Este procedimiento permite realizar ajustes precisos antes de activar los modos automáticos, garantizando un arranque seguro, controlado y adecuado del ciclo de empaque.

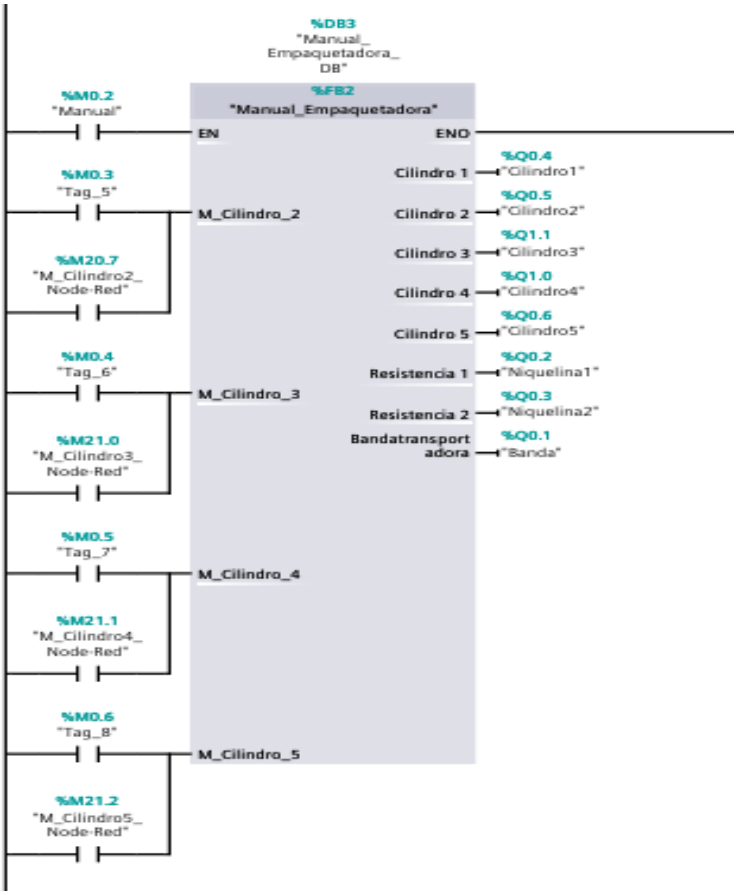


Figura 35. Programación del modo manual

En la Figura 36 se muestra que en cada uno de los bloques de programación manual, cada marca de mando (#M_Cilindro_2, #M_Cilindro_3, #M_Cilindro_4 y #M_Cilindro_5) habilita de forma independiente el control de su respectivo cilindro, permitiendo al operador accionar cada etapa sin depender de la secuencia automática. Cada marca activa un temporizador TOF que mantiene energizado el actuador por un tiempo definido después de soltar el mando, asegurando un funcionamiento seguro y completo. Así, la #Marca1 con el TOF Instance_11 controla el Cilindro 2 y la Resistencia 2; la #Marca2 con el TOF Instance_9 acciona el Cilindro 3 y la Resistencia 1; la #Marca3 con el TOF Instance_8 opera el Cilindro 4 y la Resistencia 2; y la #Marca4 con el TOF Instance_10 controla el Cilindro 5 y la Resistencia 1.

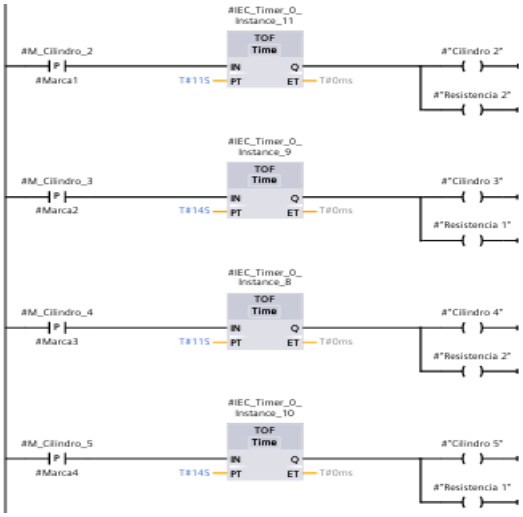


Figura 36. Habilitación de cilindros

3.15 Programación HMI

WinCC RT Advanced es el programa de ejecución de Siemens diseñado para desarrollar e implementar sistemas de visualización de interfaz humano -máquina HMI sobre equipos basados en computadora. Su propósito fundamental es operar como un centro robusto de seguimiento y manejo, facilitando que los encargados puedan interactuar con las operaciones de automatización. Es perfecto para usar en maquinaria elaborada o instalaciones de escala menor, dado que brinda una forma adaptable y que puede crecer para mostrar el control lógico configurado en un controlador directamente desde una computadora industrial o una pantalla táctil sofisticada dependiendo de los recursos.

3.15.1 Configuración para la estación diseñada

En este caso en la Figura 37 se muestra el sistema que se ha empleado para el diseño de la estación el mismo que se encuentra en la sección de sistemas PC.

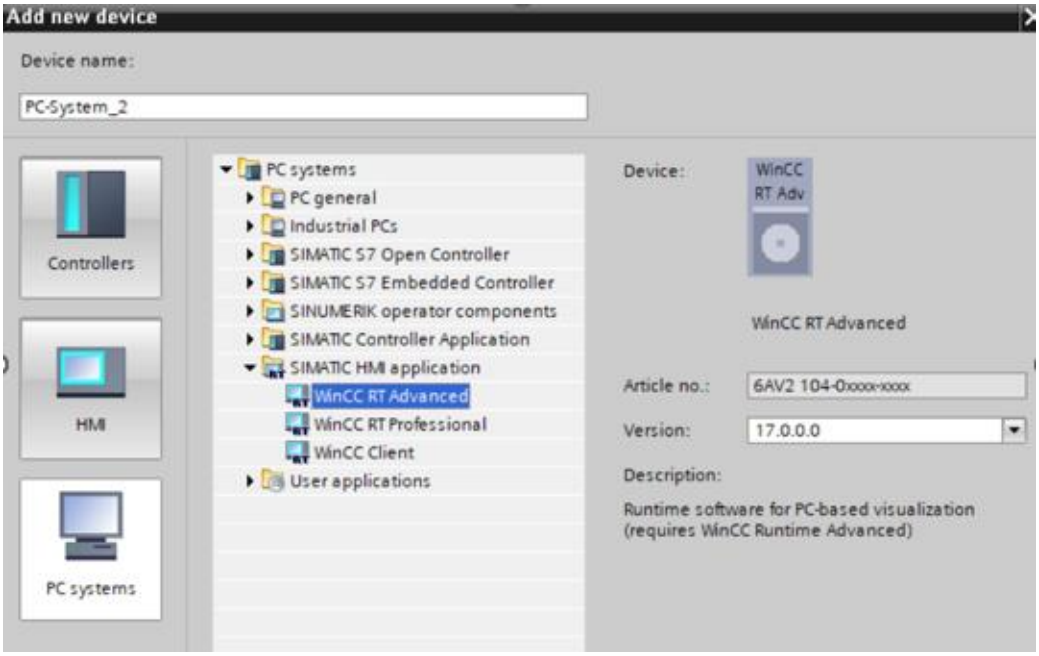


Figura 37. Sistema empleado

En la Figura 38 se muestra que, ya una vez seleccionada la opción, se debe añadir el módulo de comunicación. Para este caso se está empleando un módulo PROFINET/Ethernet, con un IE general tal como se puede apreciar.

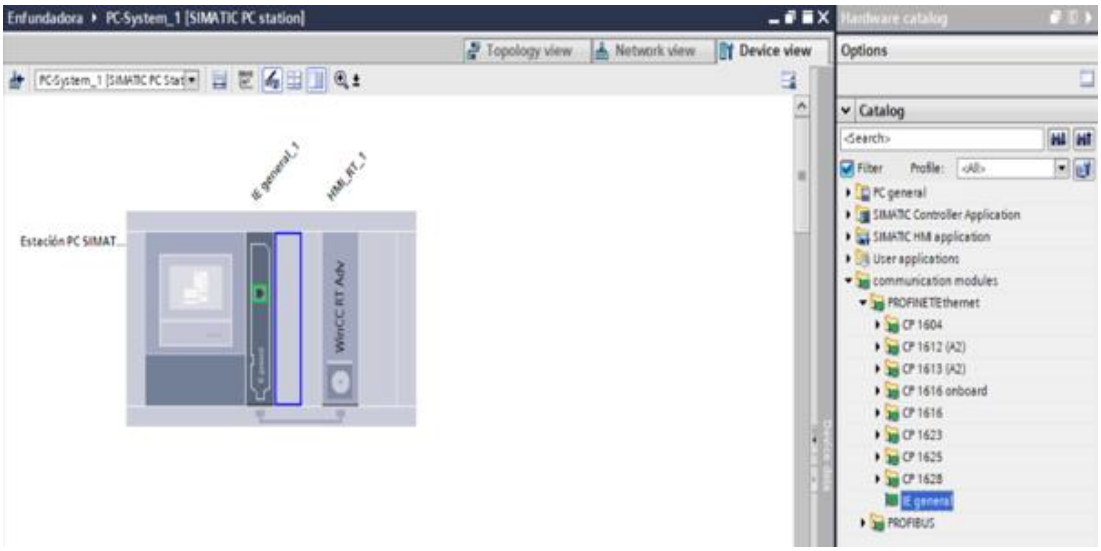


Figura 38. Módulo de comunicación a emplear

En la Figura 39 se muestra que una vez seleccionado el módulo de comunicación se procede con la configuración del run time, el cual nos permite ajustar el color de la pantalla, la resolución, entre otros.

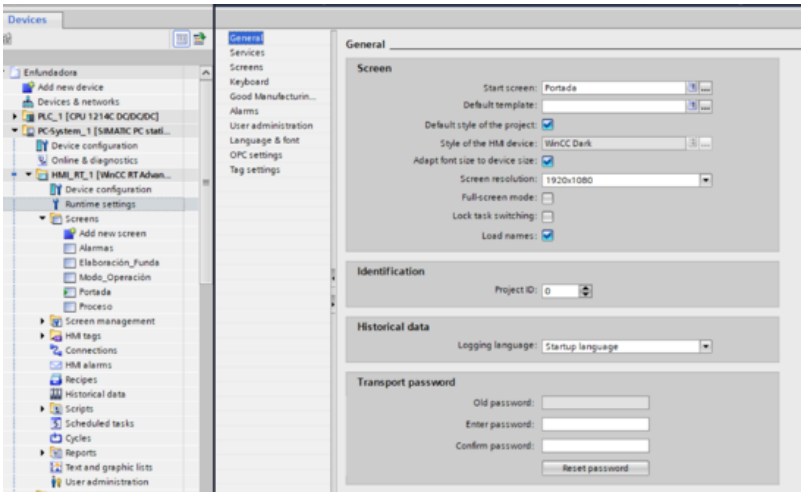


Figura 39. Configuración del run time

Esta opción nos permite crear plantillas para las imágenes principales, teniendo presente el diseño que la persona desea realizar. En la Figura 40 se muestra cual se escogió para la ayuda de dos plantillas que servirán en el proceso de visualización de los datos, la primera para la portada y la segunda para la visualización de los datos, el proceso y las alarmas.



Figura 40. Diseño de portada para el proceso

El trabajo está diseñado en 5 imágenes principales, la primera enfoca con la portada, seguidamente del modo de operación, elaboración de la funda, proceso y alarmas, tal como se puede apreciar en la Figura 41.

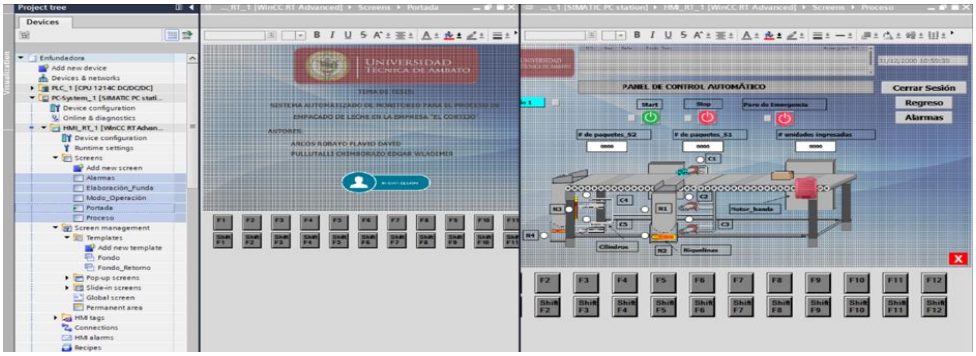


Figura 41. Diseño desarrollado con imágenes principales

En la Figura 42 se muestra que todas las variables de este sistema se las están realizando en la programación principal que tiene el PLC, vinculadas de manera adecuada para que respondan a las diferentes acciones que se deben ejecutar dentro del proceso. Para ello al igual que los registros que se guardan en el PLC, esta herramienta también tiene su propio banco de datos, el cual nos presenta todas las variables con las que estamos trabajando.

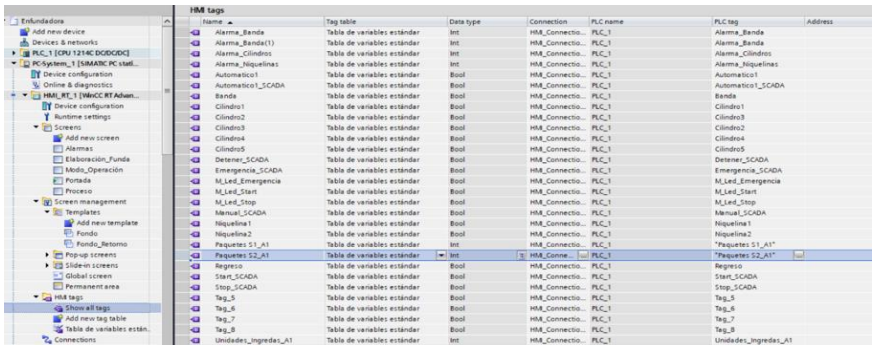


Figura 42. Designación de variables

Las variables presentadas en el sistema PC son tomadas directamente de los bloques de programación, teniendo en cuenta que estamos trabajando con entradas, salidas y espacios de memorias globales como se puede observar en la Figura 43. Se pueden apreciar cómo se están conectando las diferentes variables del sistema al bloque de programación, permitiéndonos un control adicional de las diferentes acciones que debe tener el proceso, en este caso cuenta con dos modos, el manual y el automático.

El primero enfocado al control de los actuadores de manera personal, teniendo en cuenta los criterios del operador y sus diferentes requerimientos. La segunda, una secuencia de acciones que se ejecutan de manera ordenada a lo largo del tiempo.

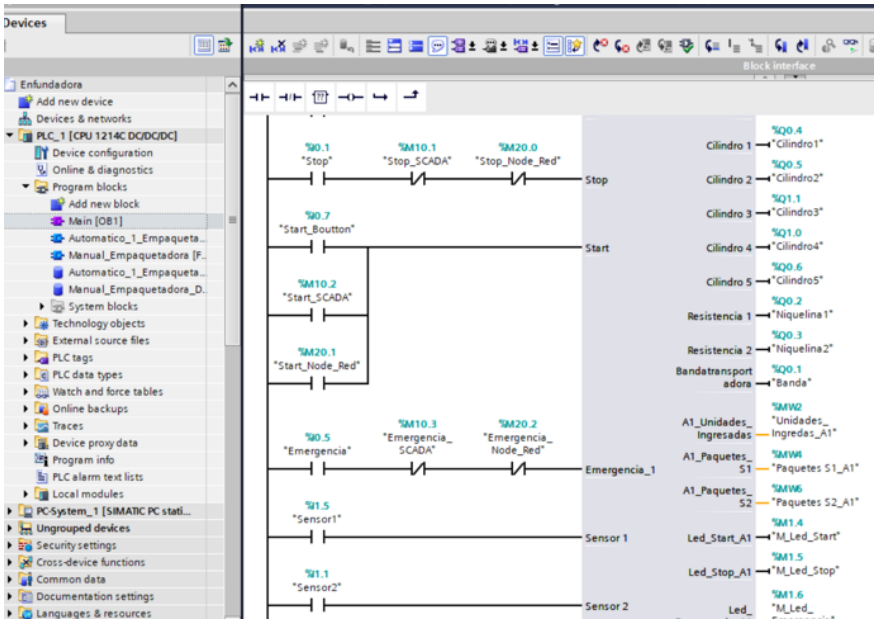


Figura 43. Variables de los bloques de programación

Como los bloques se deben activar dependiendo de los requerimientos del operador, se ha realizado una pequeña programación en el Main, la misma que está vinculada con las marcas del sistema, en la Figura 44 se describen estas líneas.

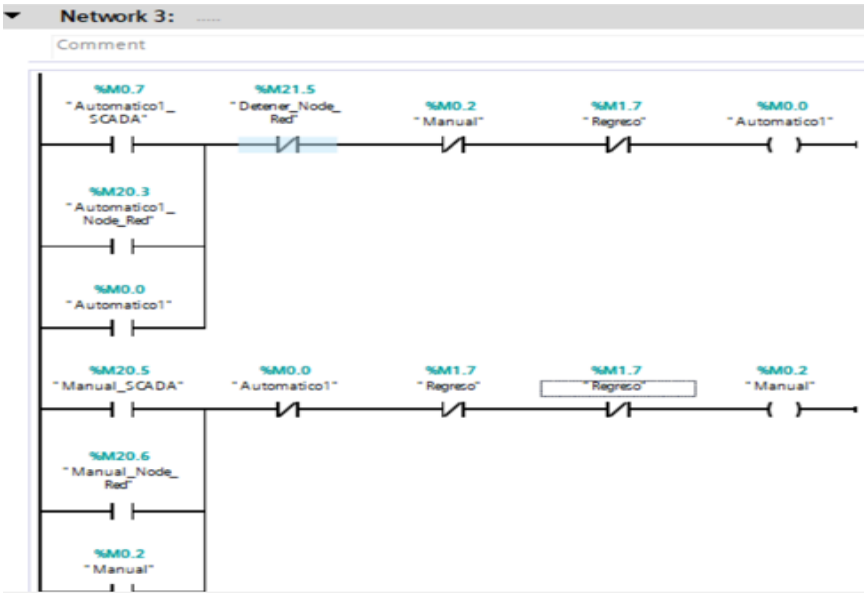


Figura 44. Programación para activación desde la interfaz hombre-máquina

En la Figura 43 y 44 se puede apreciar que en el segmento 3 existen dos líneas de programación, las cuales se activan desde la interfaz hombre-máquina, la primera acciona el funcionamiento del bloque Automático, y la segunda del Manual. Así

también existen conectados diferentes variables, las cuales pueden desactivar los antes mencionados bloques, en caso de existir fallos o inconvenientes en el proceso.

3.15.2 Vinculación de todos los datos a emplear

Dentro de la interfaz se pueden crear diferentes objetos, lo importante es que estén unidos a la entrada, salida o memoria que se desea visualizar o controlar, para ello en la Figura 45 se muestra un ejemplo de cómo se debe realizar la comunicación.

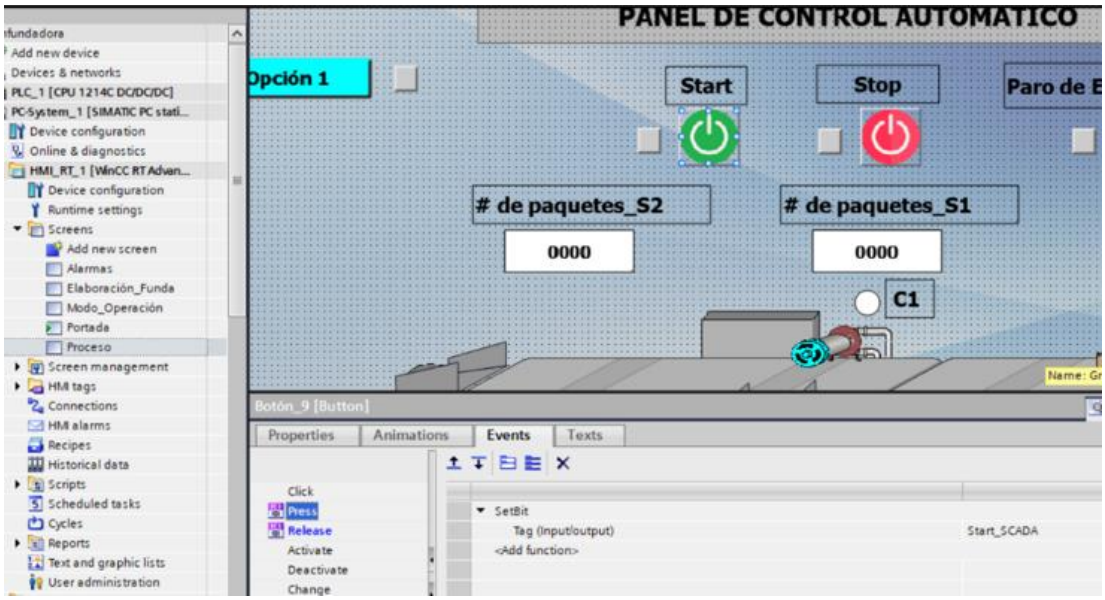


Figura 45. Ejemplo de comunicación con la interfaz

Se observa como el botón de Start, al ser presionado debe enviar un bit positivo al espacio de memoria y el mismo al ser soltado cancela dicha acción, si bien es cierto esta es una manera muy práctica, dado que existen múltiples formas de poder realizar la comunicación. Esta acción nos indica que estamos escribiendo en una variable del PLC desde el sistema PC, la imagen a continuación muestra una lectura de un contador en la pantalla del sistema, el dato se está registrando en la programación del PLC, y lo estamos visualizando en la pantalla.

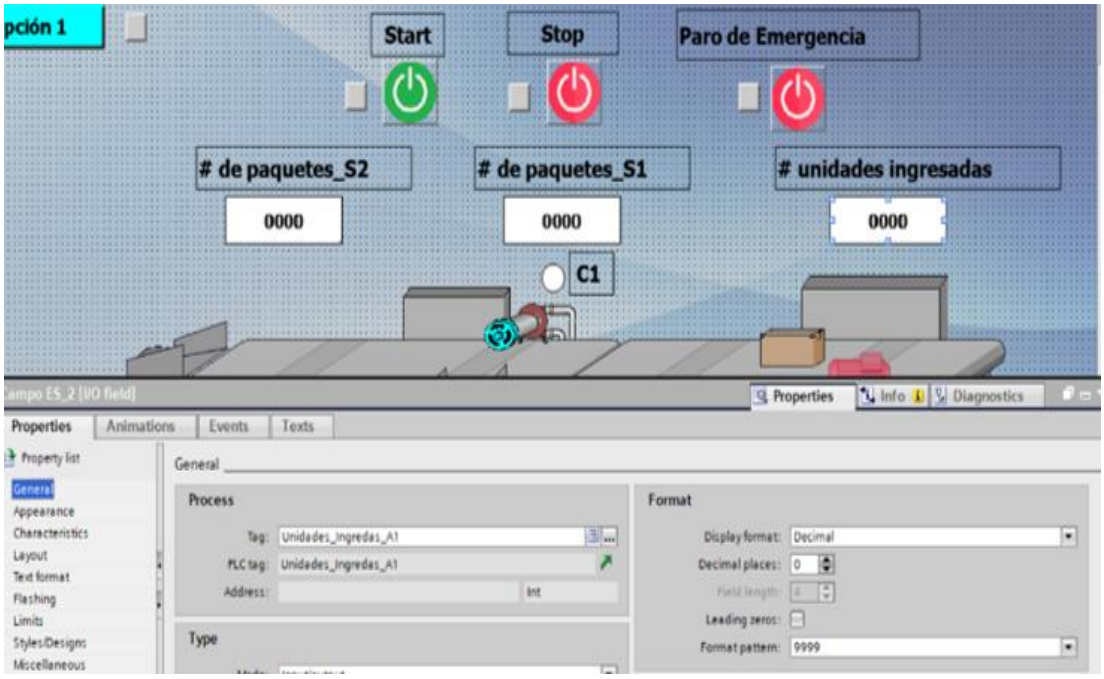


Figura 46. Vinculación de variable con espacio definido en la programación

En la Figura 46 se puede apreciar la variable con la que está vinculada el espacio denominado # unidades ingresadas, respondiendo al contador del PLC.

3.16 Diseño del sistema de monitoreo empleando Node-RED

El sistema de monitoreo del prototipo se creó usando la plataforma Node-RED. Esta herramienta deja juntar la información del PLC, procesarla y mostrarla en una pantalla gráfica parecida a un sistema SCADA de fábrica. La estructura que se puso en marcha ayuda a vigilar el llenado y empaque de la leche al instante, facilitando el control de motores, monitoreo del proceso, integrar informes automatizados para la gestión de los procesos. La parte visual que se diseñó imita los formatos utilizados en entornos industriales reales, combinando elementos gráficos sencillos de interpretar con la lógica de operación necesaria para que el prototipo funcione de forma segura. Este enfoque se alinea con las recomendaciones de normas como ANSI/ISA-101.01 para interfaces hombre–máquina en sistemas de automatización de procesos, que promueve pantallas claras, consistentes y orientadas a la conciencia situacional del operador, y con ISO 11064-5 sobre diseño ergonómico de pantallas y controles en salas de control, donde se prioriza la presentación estructurada de la información y la reducción del riesgo de errores humanos [38].

3.16.1 Inicio del servidor Node-RED en la consola Windows

El arranque del servidor de Node-RED permite confirmar que el entorno de trabajo se ha configurado correctamente y que todos los componentes necesarios se encuentran operativos como se muestra en la Figura 47.

En esta etapa, el sistema muestra información relevante como las versiones instaladas, los módulos cargados y la ruta donde se almacenarán los flujos de trabajo. Además, se habilita la dirección local http://127.0.0.1:1880, la cual constituye el punto de acceso al editor donde se desarrollará la lógica del sistema de monitoreo. Este inicio exitoso garantiza que el usuario puede continuar con la construcción del panel, la integración del PLC y el resto de las funcionalidades programadas para el proyecto. Durante el arranque. Esto demuestra que el sistema está preparado para comenzar la creación de flujos y paneles de monitoreo.

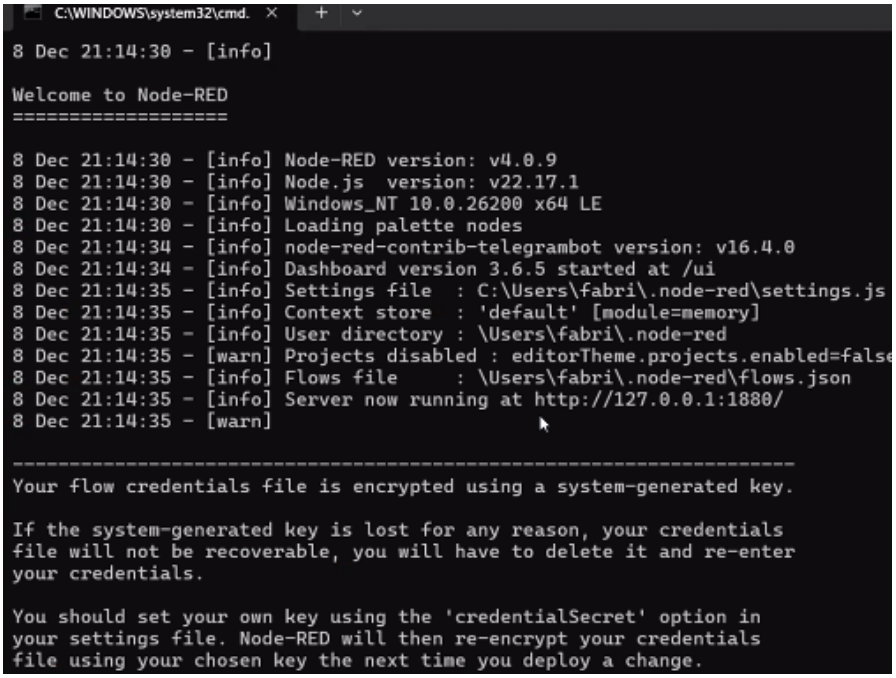


Figura 47. Inicio del servidor Node-RED en la consola Windows

3.16.2 Interfaz principal de Node-RED y acceso al gestor de paletas

La Figura 48 muestra la interfaz inicial del editor de Node-RED, donde se construyen los flujos y la estructura lógica del sistema de monitoreo. En esta etapa del diseño, el usuario cuenta con un espacio de trabajo limpio y organizado que permite incorporar

nodos, agrupar funciones y definir la arquitectura del panel de control. A la izquierda se encuentra la barra con los nodos básicos, mientras que a la derecha aparece el panel del dashboard, donde se gestionan las pestañas y grupos que darán forma a la interfaz visual del sistema.

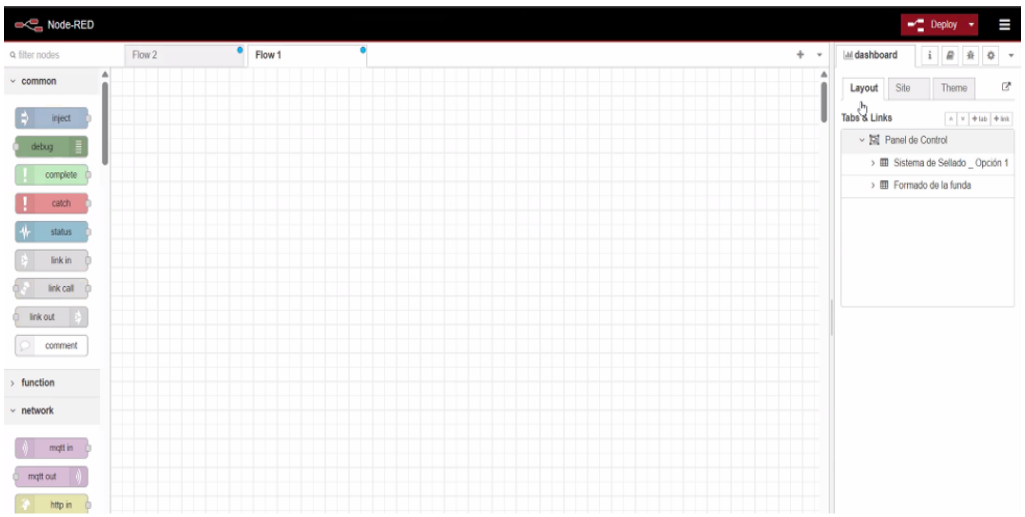


Figura 48. Interfaz principal de Node-RED

Un elemento clave en esta fase es el botón Deploy, situado en la parte superior derecha. Este comando permite guardar y activar cada cambio realizado en los flujos. A partir de esta pantalla también se accede al gestor de paletas, herramienta mediante la cual se instalan nodos adicionales necesarios para ampliar las capacidades del sistema, como módulos de comunicación con el PLC, elementos gráficos o extensiones para mensajería. En conjunto, esta interfaz representa el punto de partida para el desarrollo práctico del sistema de monitoreo en Node-RED, permitiendo organizar la estructura general antes de integrar funcionalidades específicas.

3.16.3 Instalación de nodos para la comunicación, interfaz y mensajería

En la Figura 49 se presenta el proceso de configuración inicial del sistema, específicamente la instalación de los nodos adicionales que permiten ampliar las funciones de Node-RED. A través del gestor de paletas se incorporan los módulos necesarios para integrar el PLC, construir la interfaz visual y habilitar la comunicación externa. Entre los nodos instalados se encuentran los destinados a la comunicación con equipos Siemens (node-red-contrib-s7), los elementos gráficos para el panel (ui-led, ui-media, ui-svg).

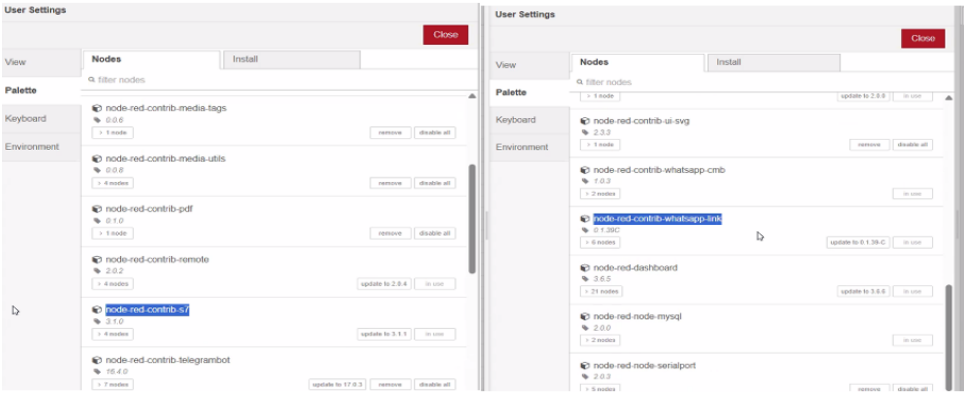


Figura 49. Instalación de nodos para la comunicación, interfaz y mensajería

Esta etapa es fundamental porque define las capacidades del sistema desde el principio. Cada nodo instalado añade una función concreta que luego será utilizada dentro de los flujos: lectura de datos del PLC, creación de indicadores visuales, construcción del dashboard, envío de alertas o interacción con el usuario final.

3.16.4 Selección y configuración del tema visual para el panel de control

En la Figura 50 se observa la sección destinada a configurar el estilo visual del dashboard de Node-RED, en este caso empleamos el tema En esta figura se observa la sección destinada a configurar el estilo visual del dashboard de Node-RED, donde se selecciona el tema Dark como opción principal para el sistema. Este ajuste define la apariencia general de la interfaz, determinando colores de fondo, contraste y la forma en que se presentan los indicadores y botones dentro del panel. La elección del tema oscuro ofrece una visualización más cómoda en entornos industriales, especialmente en áreas con iluminación variable o donde se requiere una lectura clara de datos sin fatiga visual [47].

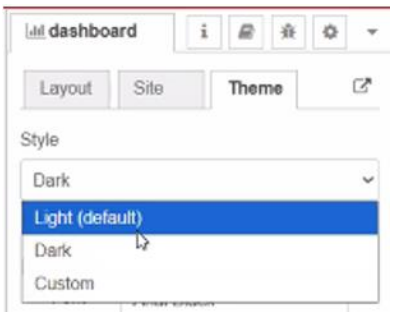


Figura 50. Selección para personalizar pantallas

3.16.5 Panel de control con organización por secciones en tema Dark

En esta parte del diseño en la Figura 51 se muestra la estructura inicial del panel de control que se construyó en Node-RED utilizando el tema Dark. En este punto se organiza el dashboard en secciones desplegables para que el operador pueda acceder de forma rápida a cada parte del proceso. La primera sección corresponde al Sistema de Sellado – Opción 1, mientras que la segunda agrupa los elementos relacionados con el Formado de la funda. Esta distribución permite mantener la pantalla limpia, evitar saturación de información y facilitar la navegación entre los distintos componentes del sistema.



Figura 51. Panel de control con organización por secciones en tema

3.16.6 Configuración de botones y organización de grupos en el dashboard

En esta parte del diseño se configuran los primeros elementos interactivos del panel, como botones y widgets que posteriormente formarán parte de la interfaz principal. Cada elemento debe ser asignado a un grupo dentro de una pestaña específica, lo cual permite mantener una estructura visual ordenada y facilita su ubicación dentro del dashboard. En la Figura 51 se observa cómo se definen parámetros como el nombre del grupo, la pestaña de destino y el ancho que ocupará dentro de la pantalla.

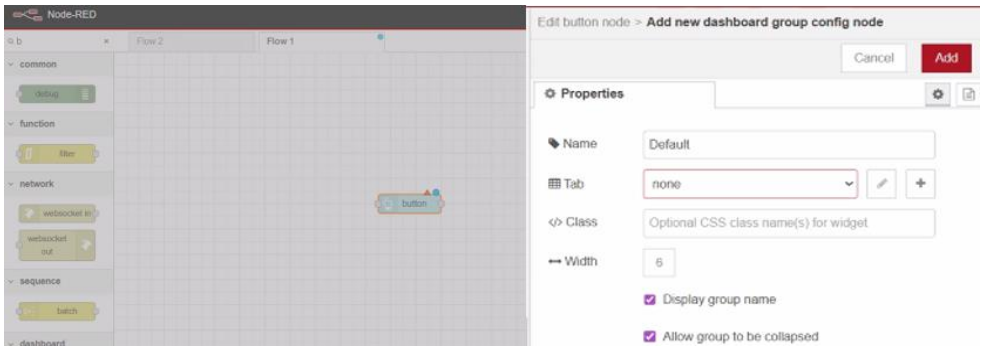


Figura 52. Configuración de botones y organización de grupos en el dashboard

Asimismo, se activa la opción “Allow group to be collapsed”, que permite que cada grupo pueda contraerse o expandirse según las necesidades del usuario. Esta característica resulta fundamental cuando el panel contiene gran cantidad de información, ya que mejora la navegación y evita la saturación visual.

3.16.7 Configuración individual de los elementos que formarán parte del panel

En esta fase del diseño se definen las propiedades específicas de cada elemento que aparecerá en la pantalla del dashboard. La Figura 53 muestra el panel de configuración de un botón, donde se asigna el grupo al que pertenecerá, el tamaño, el icono que lo identificará y la etiqueta que verá el usuario. Estos ajustes permiten que cada componente tenga una función clara dentro de la interfaz y que su presentación sea coherente con el resto del panel.

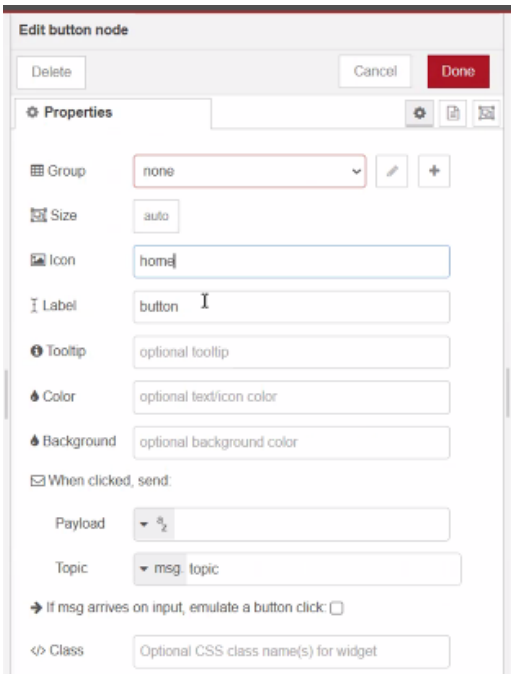


Figura 53. Configuración individual de los elementos que formarán parte del panel

También se pueden definir características adicionales como el color, el fondo y la acción que ejecutará el botón al ser presionado. Esta configuración detallada asegura que cada elemento del dashboard cumpla un propósito específico y responda de manera adecuada durante la operación del sistema. Al establecer estas propiedades desde el inicio, se construye una interfaz más ordenada, intuitiva y alineada con las necesidades del proceso que se monitorea.

3.16.8 Visualización de mensajes y estados mediante el panel de depuración

La Figura 54 corresponde a la vista del panel de depuración de Node-RED, herramienta fundamental para verificar el funcionamiento interno de los flujos durante el desarrollo del sistema. Aquí se muestran los diferentes nodos que están generando actividad, como los relacionados con la base de datos, la integración con WhatsApp, los endpoints del PLC y los grupos del dashboard. Cada uno de ellos registra eventos o valores que permiten identificar si la comunicación y la lógica interna se están ejecutando correctamente.

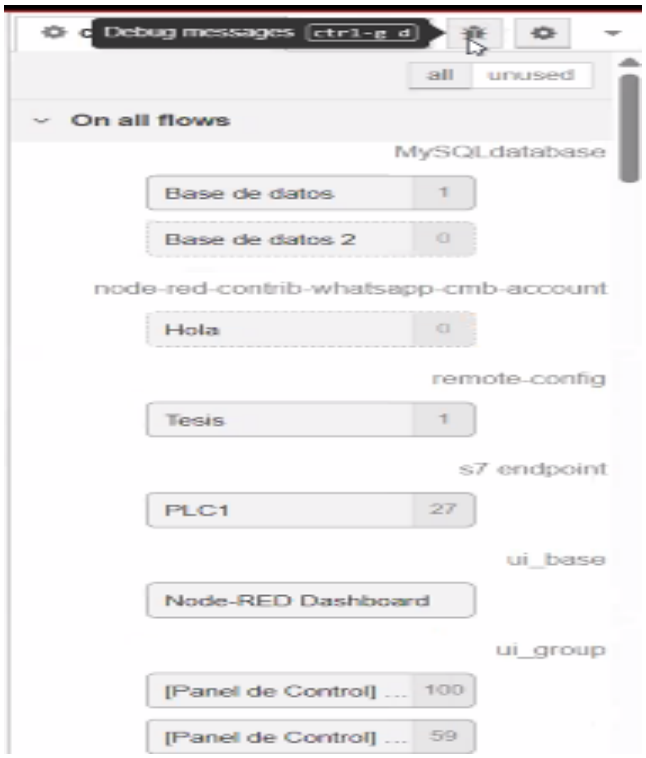


Figura 54. Visualización de mensajes y estados mediante el panel de depuración

3.16.9 Programación del Sistema de Monitoreo

En este punto se programa la etapa donde se construye la lógica de control en Node-RED, se programan las acciones principales del sistema, se definen los tiempos de activación mediante triggers, y se establecen todas las conexiones con el PLC Siemens. Además, se muestran los pasos para asignar variables, configurar direcciones de comunicación y vincular cada nodo con las marcas internas del autómata. Este bloque representa el núcleo de la integración entre Node-RED y el proceso industrial.

a. Estructura inicial de programación del sistema

En la Figura 55 se observa el inicio de la lógica de programación que controla las funciones principales del sistema. Se definen nodos como Opción 1, Start, Stop, Paro de emergencia y Detener, cada uno vinculado a un trigger de 250 ms. Esta configuración permite enviar señales estables y continuas hacia los actuadores del PLC. El nodo Opción 1 representa la activación del modo automático del sistema.

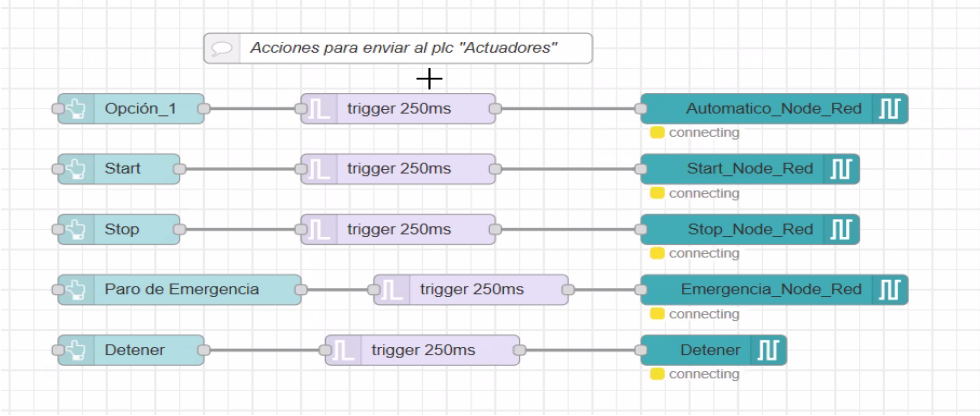


Figura 55. Estructura inicial de programación del sistema

b. Configuración del nodo Opción 1 y asignación del trigger

En la Figura 56 se muestra la configuración específica del nodo Opción 1, donde se ajustan propiedades como el grupo al que pertenece, su icono y su etiqueta. En el flujo, este nodo se conecta a un trigger que envía un valor verdadero como señal de activación. Este comportamiento es fundamental para iniciar secuencias automáticas dentro del proceso.

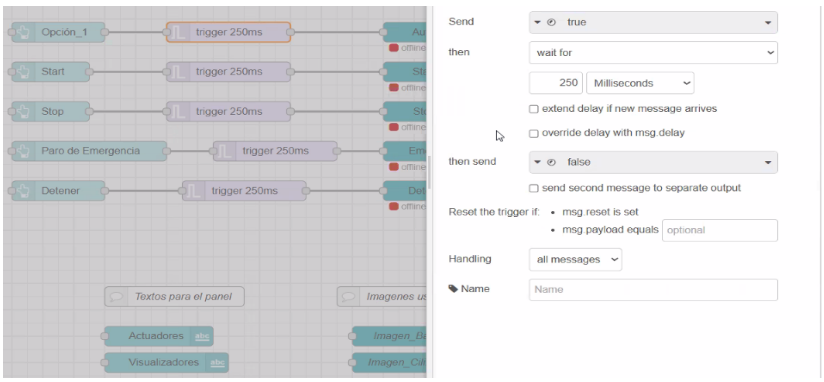


Figura 56. Configuración del nodo Opción 1 y asignación del trigger

c. Programación del trigger con un pulso de 250 ms

En la Figura 57 se detallan las propiedades del trigger utilizado. Se observa cómo el nodo está programado para enviar primero un valor true, esperar 250 milisegundos y luego enviar un valor false. Este ciclo permite generar impulsos temporizados que el PLC interpreta como comandos de activación. El uso de 250 ms como tiempo de trabajo garantiza estabilidad y señales erróneas.

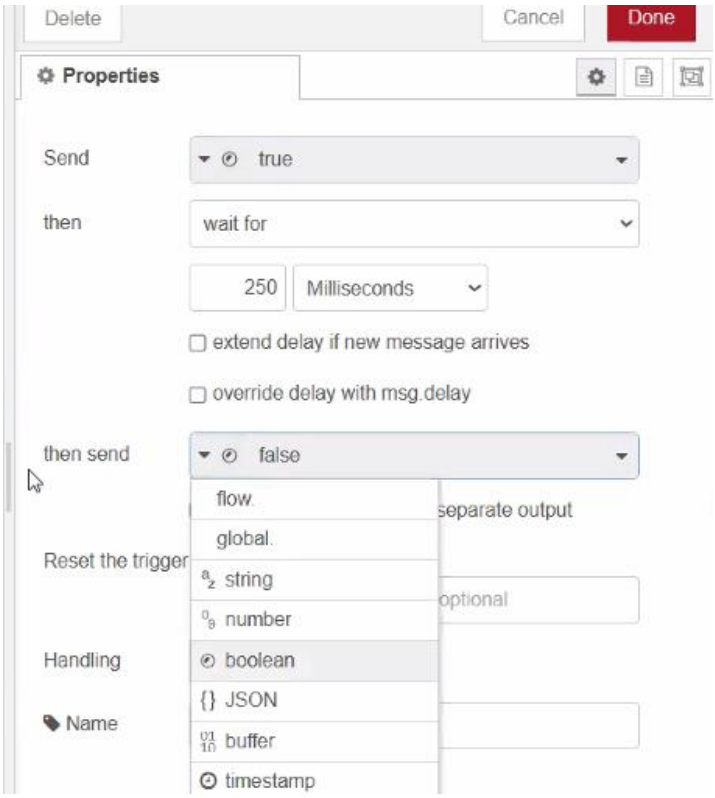


Figura 57. Programación del trigger con un pulso de 250 ms

d. Configuración del nodo de salida hacia el PLC

En la Figura 58 se muestra la asignación del nodo que envía la señal programada hacia una variable dentro del PLC. El nodo está vinculado al controlador identificado como PLC1 y se conecta directamente a una marca interna (por ejemplo, Automático_Node_Red). Esta configuración establece el canal de comunicación donde Node-RED escribe las órdenes que activan el proceso.

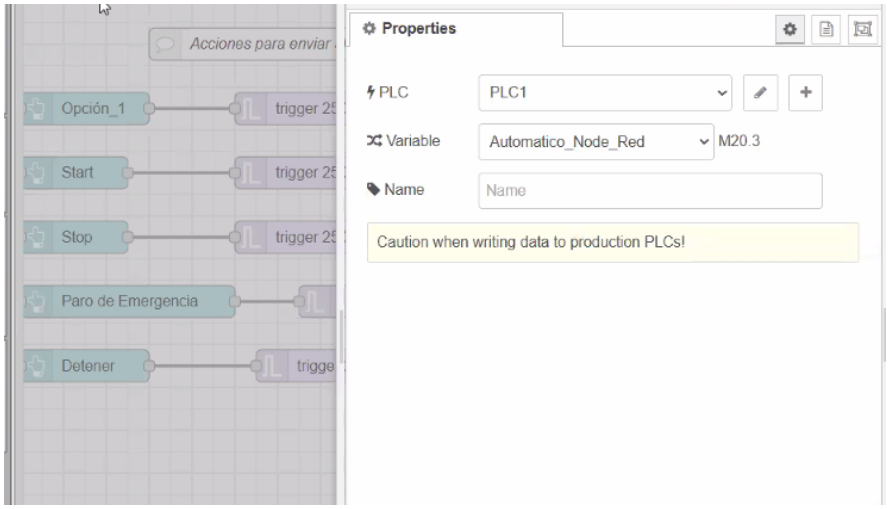


Figura 58. Configuración del nodo de salida hacia el PLC

e. Definición de dirección IP, puerto y parámetros de conexión del PLC

En la Figura 59 se configura la comunicación entre Node-RED y el PLC Siemens. Se establece la dirección IP del controlador, el puerto 102 para protocolo S7, y los parámetros de rack y slot según la arquitectura del PLC. Esta información garantiza que Node-RED se conecte al dispositivo correcto dentro de la red industrial. La dirección IP 192.168.0.1 corresponde al PLC principal del sistema.

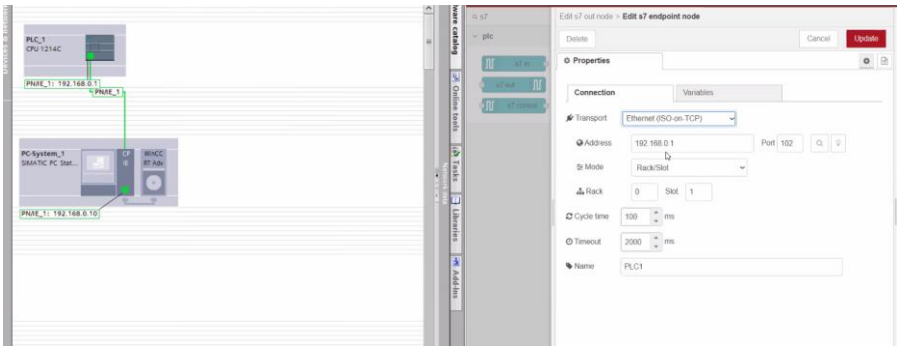


Figura 59. Definición de dirección IP, puerto y parámetros de conexión del PLC

f. Ajuste final del nodo endpoint del PLC

En la Figura 60 se verifica el tiempo de ciclo (100 ms) y el tiempo de espera (2000 ms) para asegurar una comunicación estable y sin interrupciones. Este ajuste afina el rendimiento general del sistema de monitoreo.

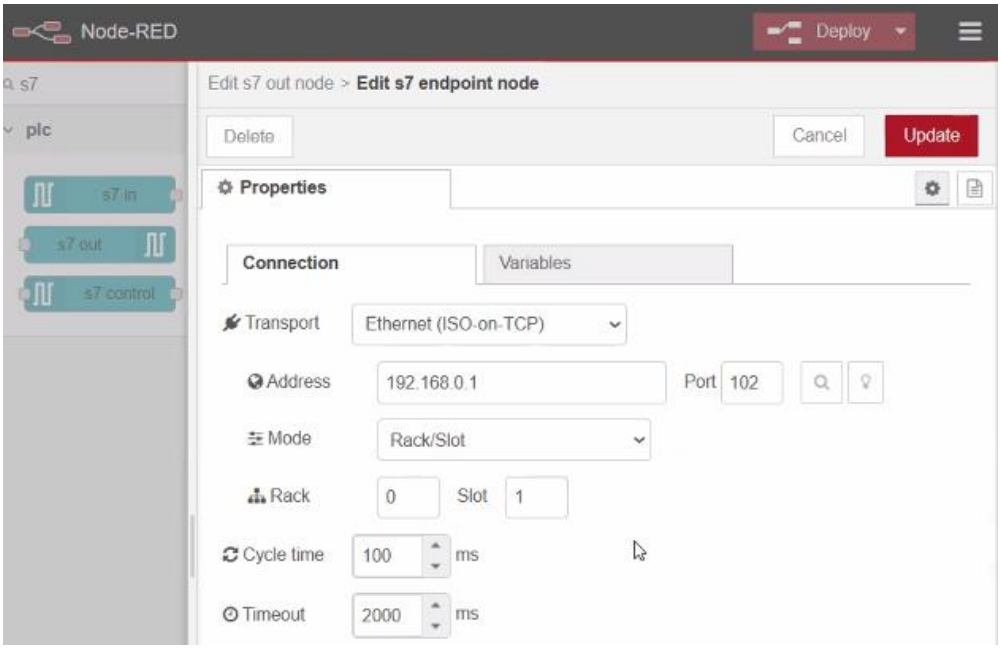


Figura 60. Ajuste final del nodo endpoint del PLC

g. Relación entre el diagrama del PLC y las marcas empleadas en Node-RED

En la figura 61 se muestra parte del programa del PLC donde se encuentran las marcas internas que representan comandos del proceso y la configuración en Node-RED, donde se asignan esas mismas marcas para ser utilizadas tanto en lectura como en escritura. Esta correlación asegura que cada variable del PLC tenga su equivalente en el sistema de monitoreo.

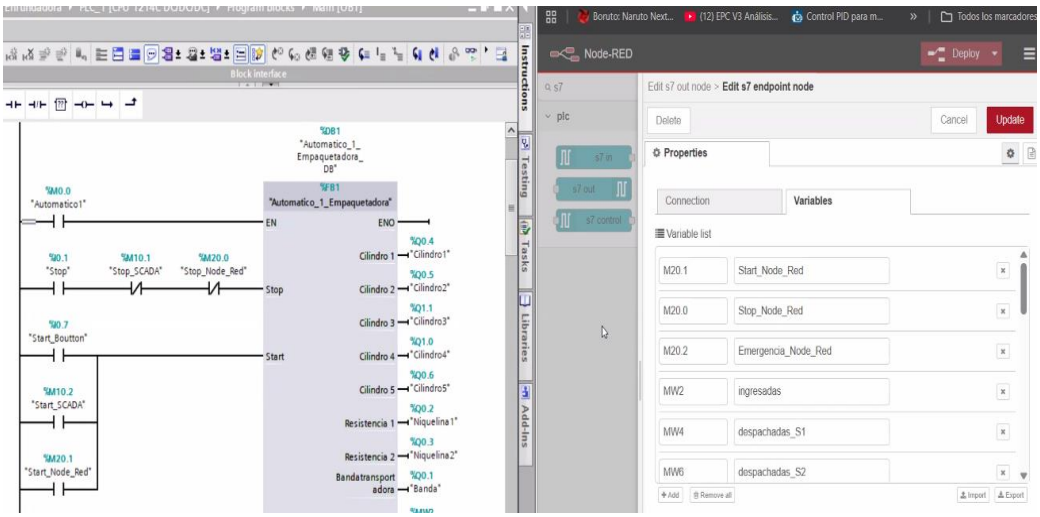


Figura 61. Relación entre el diagrama del PLC y las marcas empleadas en Node-RED

h. Lista de variables utilizadas para control del sistema

En la Figura 62 se muestran las primeras variables agregadas al endpoint del PLC dentro de Node-RED. Entre ellas se encuentran Start_Node_Red, Stop_Node_Red y Emergencia_Node_Red, todas asociadas a marcas M20.x. Estas variables permiten que Node-RED envíe comandos esenciales al controlador.

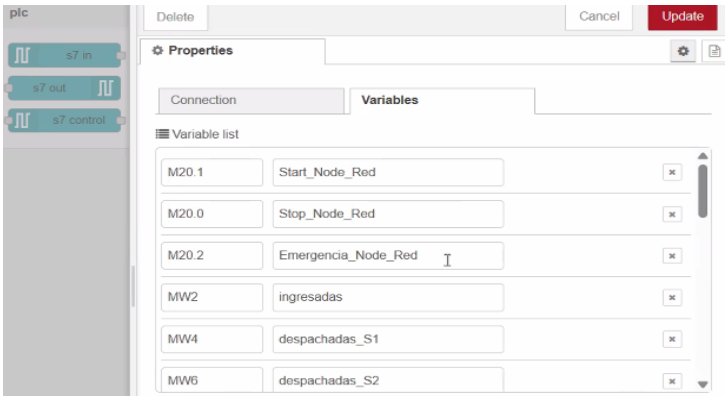


Figura 62. Lista de variables utilizadas para control del sistema

i. Variables adicionales para control de cilindros y modos de operación

En la Figura 63 se amplía la lista de variables y se incorporan marcas que representan actuadores del proceso, como Cilindro 2, Cilindro 3, Cilindro 4 y Cilindro 5. También se incluyen señales de control como Automático_Node_Red y Manual_Node_Red, que permiten gestionar el modo operativo del sistema industrial.

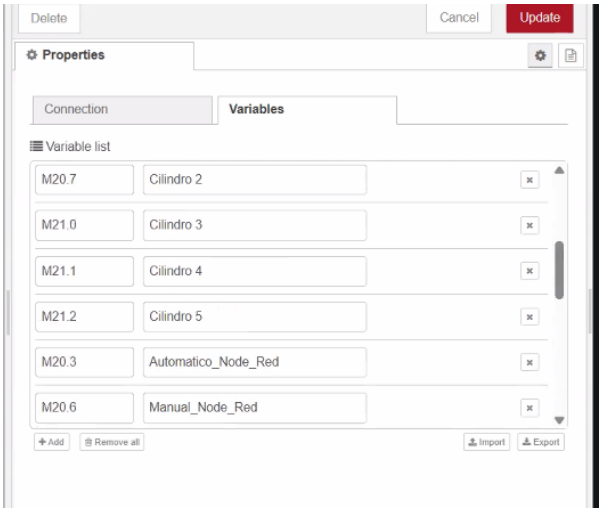


Figura 63. Variables adicionales para control de cilindros y modos de operación

j. Variables de salida relacionadas con indicadores y actuadores

En la Figura 64 se muestran variables asociadas a salidas físicas del PLC, como Led_Automático, Led_Manual, Banda y Led_Cilindro_1. Estas variables permiten que Node-RED no solo envíe comandos, sino que también controle indicadores visuales y elementos del proceso, logrando una interacción completa con el entorno industrial.

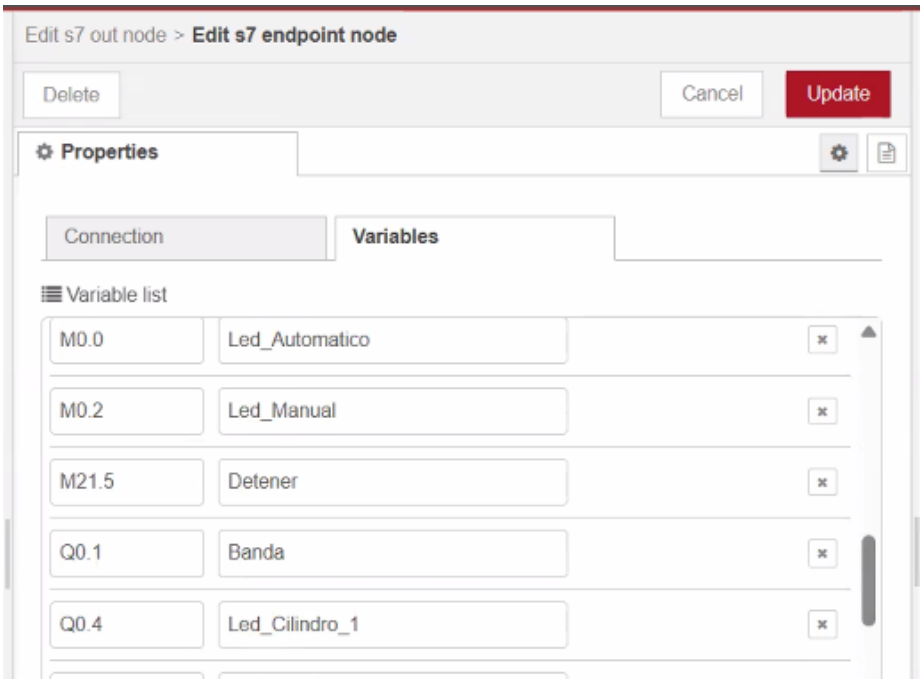


Figura 64. Variables de salida relacionadas con indicadores y actuadores

k. Asignación de variables de salida para indicadores y actuadores adicionales

En la Figura 65 se incorporan las variables de salida del PLC que permiten controlar los indicadores luminosos y algunos actuadores del sistema. Cada salida digital se asigna a una función específica, entre ellas los estados de los cilindros (Led_Cilindro_2, Led_Cilindro_3, Led_Cilindro_4 y Led_Cilindro_5) y los elementos correspondientes al mecanismo de niquelinas en sus versiones horizontal y vertical.

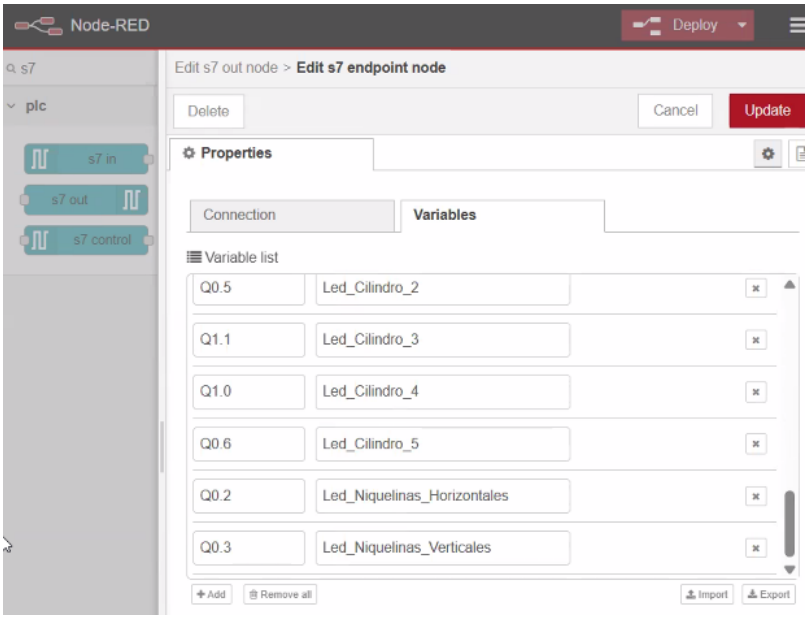


Figura 65. Configuración de variables de salida asociadas a indicadores y actuadores

l. Organización de los textos y etiquetas para la interfaz del panel

En la Figura 66 se muestran las etiquetas que serán utilizadas dentro del panel de monitoreo. Cada uno de los bloques corresponde a un título o sección que permitirá identificar claramente los componentes del sistema en la interfaz final. Se incluyen categorías como Actuadores, Visualizadores, Datos del Proceso y Banda Transportadora, además de elementos específicos del mecanismo como Niquelinas Horizontales, Niquelinas Verticales y los diferentes cilindros horizontales y verticales.



Figura 66. Organización de los textos y etiquetas para la interfaz del panel

La definición anticipada de estos textos facilita la construcción de una interfaz ordenada y comprensible para el operador. Al organizar estas etiquetas desde el diseño inicial, se garantiza coherencia entre los elementos visuales del panel y las funciones reales del proceso, mejorando la usabilidad y la interpretación de la información presentada en Node-RED.

m. Definición de los elementos visuales que formarán parte del panel

En la Figura 67 se organizan todos los recursos visuales que serán utilizados dentro del panel de monitoreo. Cada nodo corresponde a una imagen que representa un componente físico del sistema, como la banda transportadora, los cilindros y las niquelinas. La asignación de estos elementos permite estructurar de manera ordenada el conjunto de recursos gráficos que posteriormente se incorporarán a la interfaz. Este proceso asegura que cada imagen esté identificada y disponible para ser utilizada en el panel final, lo que contribuye a una visualización más intuitiva para el operador.

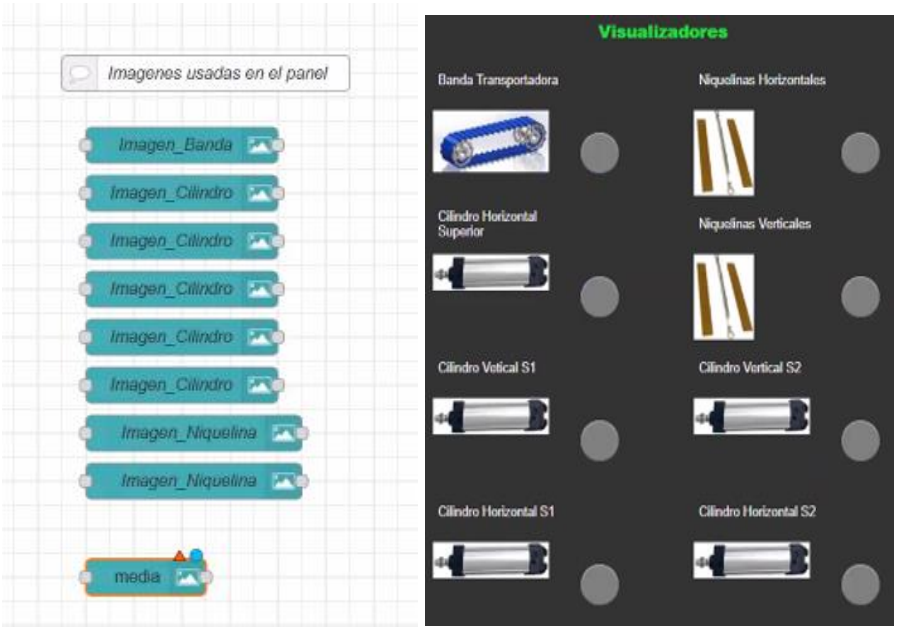


Figura 67. Definición de los elementos visuales que formarán parte del panel

n. Configuración del nodo de imágenes y categorización de archivos

En la figura 68 se establece la configuración del nodo que administra los archivos visuales dentro de Node-RED. El sistema permite seleccionar una categoría banda, cilindros o niquelinas y vincular cada imagen con la carpeta correspondiente. Esta

clasificación facilita el manejo de los recursos gráficos y asegura que el panel pueda acceder de forma correcta a las imágenes durante la ejecución. La organización por categorías mejora la estructura interna del proyecto y permite mantener un control claro sobre los elementos visuales utilizados en la interfaz.

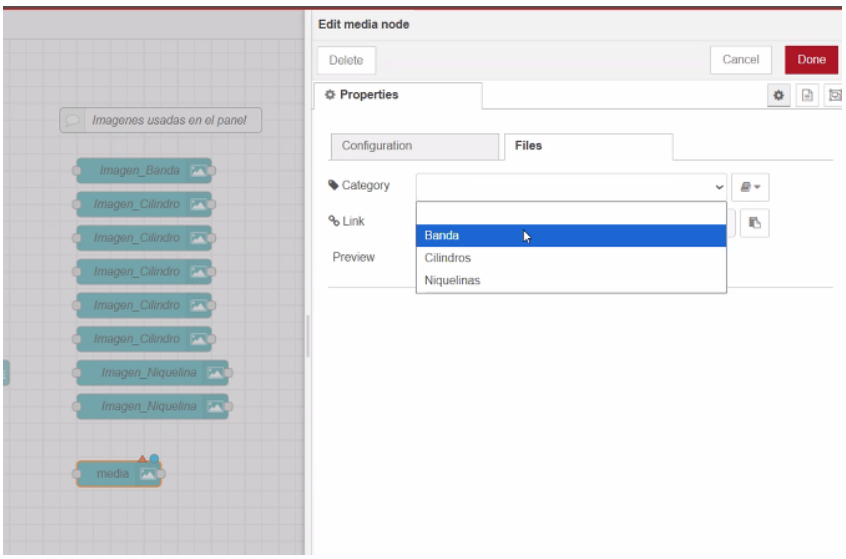


Figura 68. Configuración del nodo de imágenes y categorización de archivos

o. Integración de los datos obtenidos del PLC en el sistema de monitoreo

En la Figura 69 se organiza la lectura de variables provenientes del PLC para incorporarlas al panel de monitoreo. Cada nodo corresponde a una marca o salida del autómata, enlazada con su representación visual en el dashboard. Entre los datos recuperados se incluyen unidades ingresadas, despachos por cada estación, estado de la banda, sensores de niquelinas y las señales asociadas a los cilindros del sistema. Esta estructura permite centralizar en Node-RED toda la información operativa, convirtiéndola en elementos visuales que el usuario final puede interpretar fácilmente.



Figura 69. Integración de los datos obtenidos del PLC en el sistema de monitoreo

p. Configuración del gauge para visualizar valores provenientes del PLC

En la Figura 70 se ajustan los parámetros del widget tipo gauge, el cual se utilizará para mostrar el valor de una variable numérica obtenida del PLC, en este caso "Unidades Ingresadas". La configuración incluye la selección del grupo dentro del panel, el tamaño del indicador, la etiqueta que se mostrará al usuario y el rango mínimo y máximo del medidor. También se define la gradiente de colores para diferenciar visualmente los niveles bajos, medios y altos del valor monitoreado.

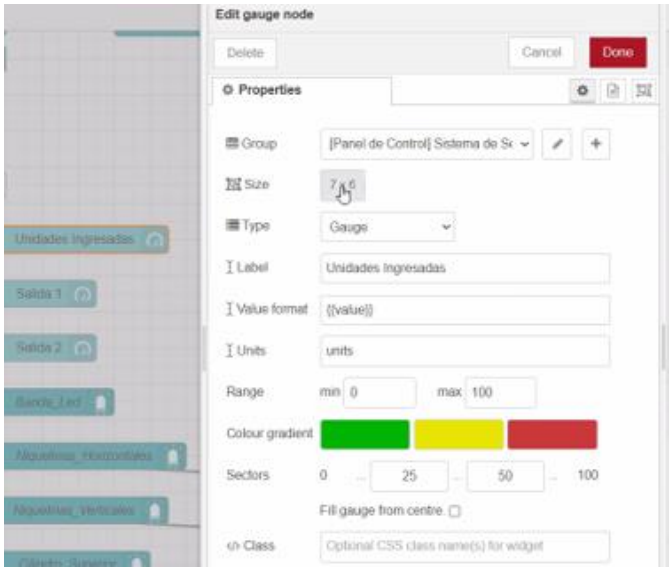


Figura 70. Configuración del gauge para visualizar valores provenientes del PLC

q. Configuración del indicador LED para representar estados del proceso

En la Figura 71 se configura un indicador LED destinado a representar de manera visual el estado de diferentes señales provenientes del PLC. El widget se incorpora al grupo correspondiente del panel, definiendo su tamaño, alineación y forma, para asegurar una integración adecuada dentro de la interfaz. Asimismo, se establecen los colores asociados a los valores recibidos, asignando rojo para el estado false y verde para el estado true, lo que permite una interpretación rápida y clara del funcionamiento de componentes como la banda, las niquelinas o los cilindros. Esta configuración optimiza la lectura del panel y mejora la capacidad del operador para supervisar el proceso de forma inmediata y precisa.

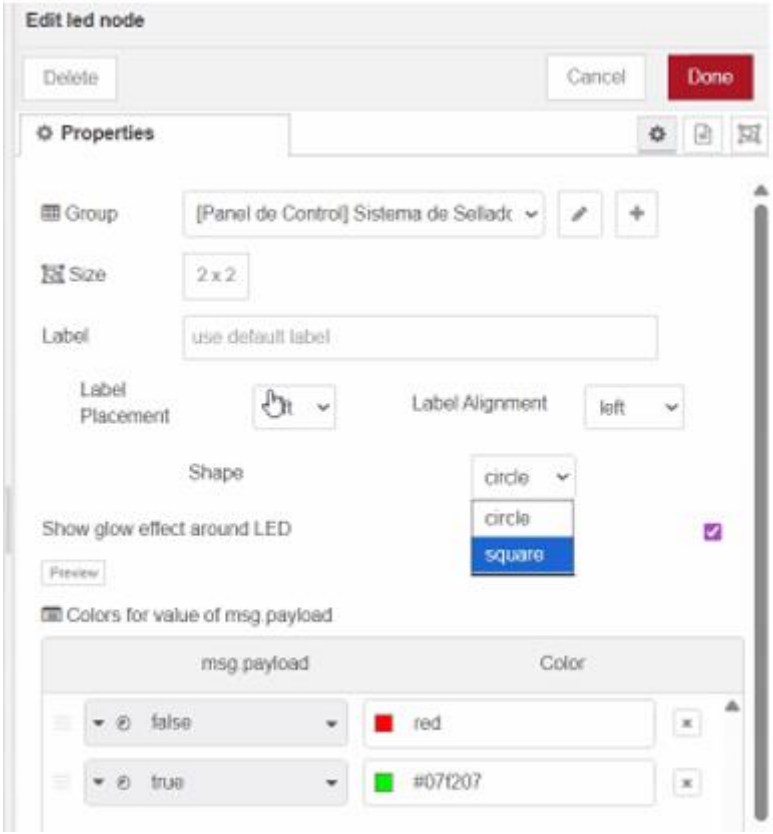


Figura 71. Configuración del indicador LED para visualización de estados

r. Programación del modo manual para el control individual de actuadores

En la Figura 72 se establece la lógica correspondiente al modo manual del sistema, permitiendo que cada actuador pueda ser accionado de forma independiente desde el panel de control. Para ello se utilizan botones asociados a triggers temporizados de

250 ms, los cuales generan pulsos seguros hacia el PLC cada vez que el operador activa una función. Este esquema incluye comandos para habilitar el modo manual, detener el proceso y operar de manera individual los cilindros 2, 3, 4 y 5. Cada salida se vincula con la marca respectiva del PLC, asegurando una comunicación clara y directa mediante los nodos configurados en Node-RED.

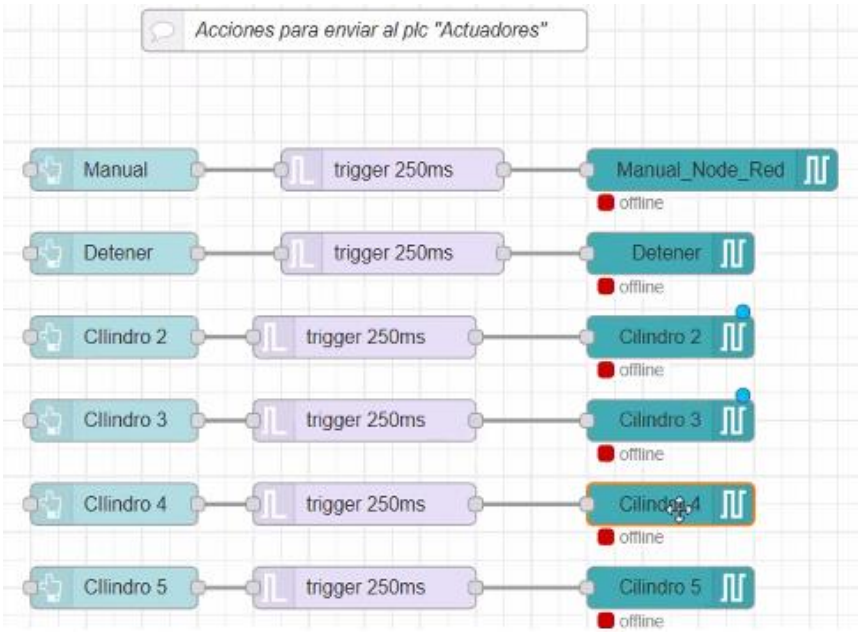


Figura 72. Programación del modo manual para el control individual de actuadores

s. Organización de textos, recursos visuales y datos del PLC para el modo manual

En la Figura 73 se estructuran los elementos que conforman la interfaz del modo manual, organizando tanto los textos que identifican cada sección del panel como las imágenes asociadas a los distintos componentes del sistema. Asimismo, se integran las variables provenientes del PLC que serán utilizadas específicamente en este modo de operación, incluyendo las señales de las niquelinas y de los cilindros horizontales y verticales. También se incorpora el indicador Led_Manual, el cual permite visualizar si el sistema se encuentra efectivamente en modo manual. Esta organización facilita la construcción de un panel coherente, ordenado y funcional, asegurando que todos los elementos necesarios para la supervisión y el control manual estén correctamente definidos antes de su implementación en la interfaz final.

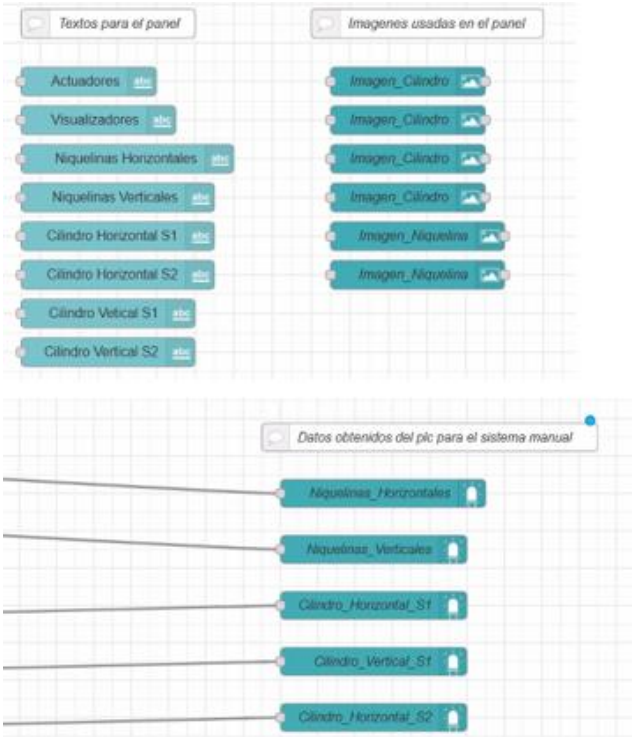


Figura 73. Organización de textos, recursos visuales y datos del PLC para el modo manual

t. Integración del nodo de conexión celular para el envío de notificaciones

En la Figura 74 se añade el módulo de conexión celular, el cual permite que el sistema pueda comunicarse externamente mediante servicios móviles, ya sea para enviar alertas, notificaciones o mensajes automáticos relacionados con el estado del proceso. La incorporación de este nodo habilita la posibilidad de que el sistema reporte eventos críticos o información relevante directamente a un dispositivo móvil, mejorando la capacidad de supervisión remota. Con esta funcionalidad, el monitoreo no se limita al panel local, sino que se extiende hacia una comunicación más dinámica y accesible para el operador.

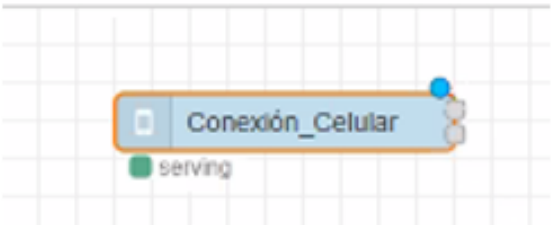


Figura 74. Integración del nodo de conexión celular para el envío de notificaciones

A continuación en la Figura 75 se configura el nodo encargado de gestionar el acceso remoto, asignándole el perfil de configuración correspondiente al proyecto y definiendo el nombre con el que será identificado dentro del flujo. Este nodo permite que la interfaz desarrollada en Node-RED pueda ser accedida desde dispositivos externos o aplicaciones móviles, ampliando la disponibilidad del sistema fuera de la red local. Además, esta configuración habilita funciones complementarias como el envío de notificaciones o mensajes automáticos, integrando la comunicación remota como parte del sistema de monitoreo.

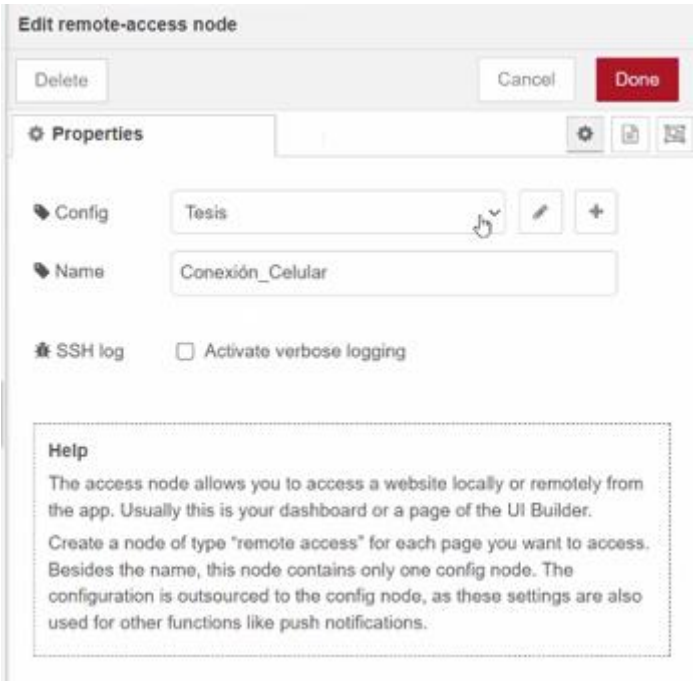


Figura 75. Configuración del nodo de acceso remoto para habilitar comunicación externa

En la Figura 76 se establecen los parámetros de conexión necesarios para habilitar el acceso remoto al sistema de monitoreo. Se define el servidor anfitrión, el protocolo de comunicación, el puerto de servicio y la ruta base desde la cual se ofrecerá el panel. Esta configuración garantiza que el sistema pueda ser visualizado desde fuera del entorno local, permitiendo que el panel desarrollado en Node-RED sea accesible mediante un navegador o una aplicación móvil compatible. De esta manera, se amplía la capacidad de supervisión del proceso, facilitando el seguimiento en tiempo real incluso cuando el operador no se encuentra físicamente en la planta.

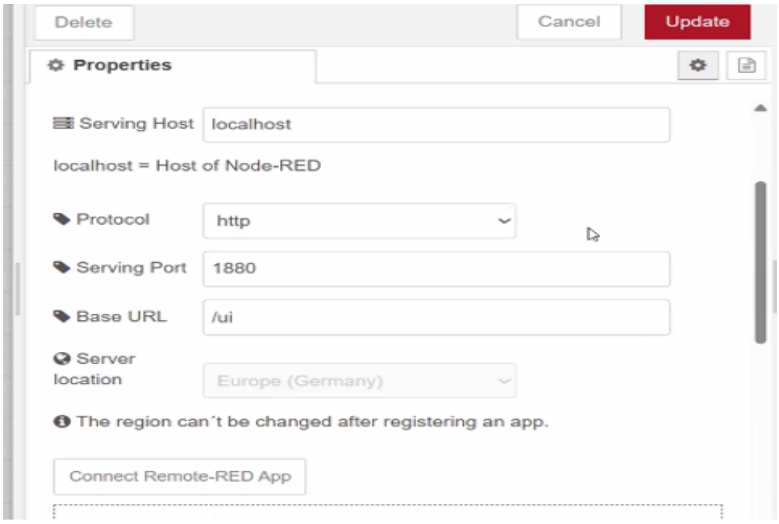


Figura 76. Parámetros de configuración del servicio remoto para acceso externo al panel

u. Establecimiento de la conexión móvil con el sistema mediante la app Remote-RED disponible en Google Play Store

Para habilitar el acceso remoto desde un dispositivo celular, es necesario descargar la aplicación Remote-RED desde la Play Store. Una vez instalada, el usuario debe abrir la aplicación e ingresar al apartado de vinculación, donde se escanea el código QR generado previamente en las propiedades del nodo de conexión celular dentro de Node-RED. Este procedimiento permite emparejar el dispositivo móvil con el panel de monitoreo, habilitando así la recepción de notificaciones, el acceso remoto al sistema y la supervisión del proceso desde cualquier ubicación con conexión a internet.

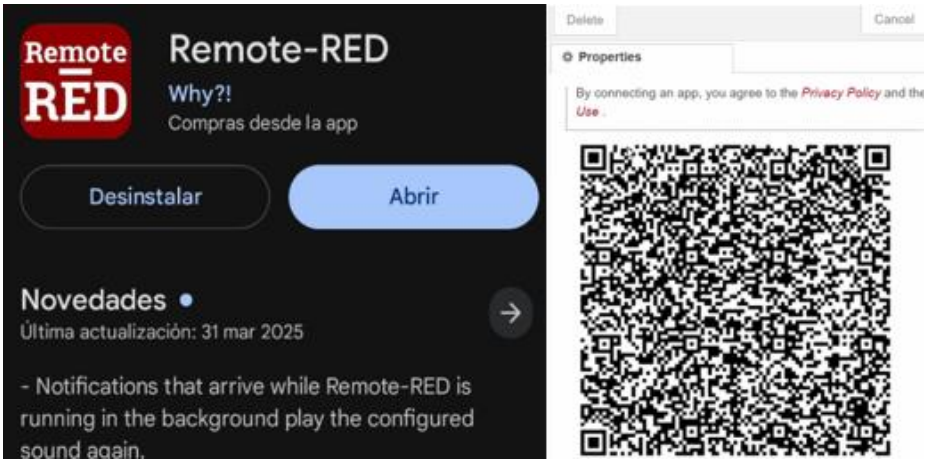


Figura 77. Conexión móvil con el sistema mediante la app Remote-RED

v. Interfaz final del panel de control en modos automático y manual

En la Figura 78 se muestra la interfaz final del panel de control que se visualizará también desde el celular al conectarse mediante la aplicación Remote-RED, donde se integran los modos automático y manual del sistema de sellado; en el modo automático se presentan los botones principales de operación acompañados de sus correspondiente visualizadores e imágenes de los actuadores, mientras que en el modo manual se habilitan controles independientes para cada cilindro junto con indicadores que confirman su estado, permitiendo que el operador supervise y accione cada componente del proceso de forma clara, segura y completamente intuitiva desde cualquier dispositivo móvil.

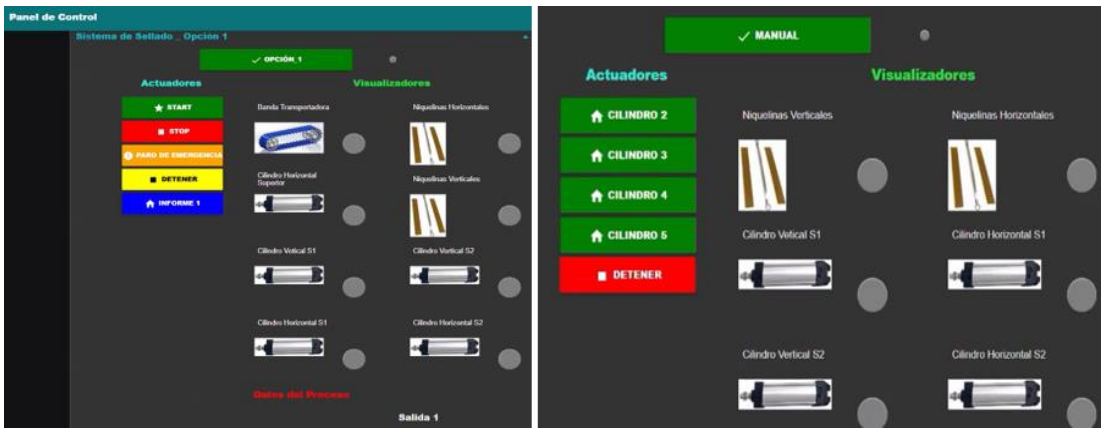


Figura 78. Interfaz final del panel de control en modos automático y manual

w. Integración del sistema de envío de mensajes a WhatsApp

En la Figura 79 se presenta la lógica implementada para el envío automático de notificaciones a WhatsApp. El flujo integra nodos de administración, recepción y envío de mensajes. Además, se incorpora una función encargada de construir el contenido final del mensaje transmitido. Mediante este esquema, el sistema genera reportes asociados a eventos, como el botón Informe 1. Estos reportes se envían a un número o grupo previamente configurado. De este modo, el operador recibe información relevante del proceso en tiempo real, incluso sin estar frente al panel de supervisión.

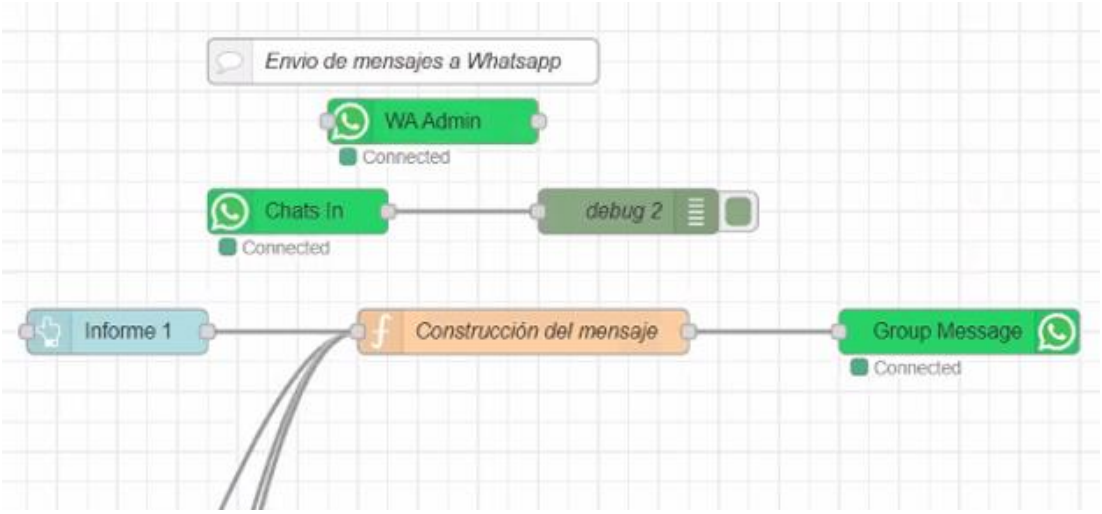


Figura 79. Integración del sistema de envío de mensajes a WhatsApp

En la Figura 80 se muestra la instalación del paquete node-red-contrib-whatsapp-link, el cual permite habilitar la comunicación entre Node-RED y la plataforma de WhatsApp. Esta librería es necesaria para gestionar el envío y recepción de mensajes dentro del sistema. Además se realiza la configuración inicial del nodo administrador, donde se vincula la cuenta personal del usuario para habilitar la autenticación con WhatsApp. Este paso es esencial para que la aplicación pueda establecer una conexión autorizada.

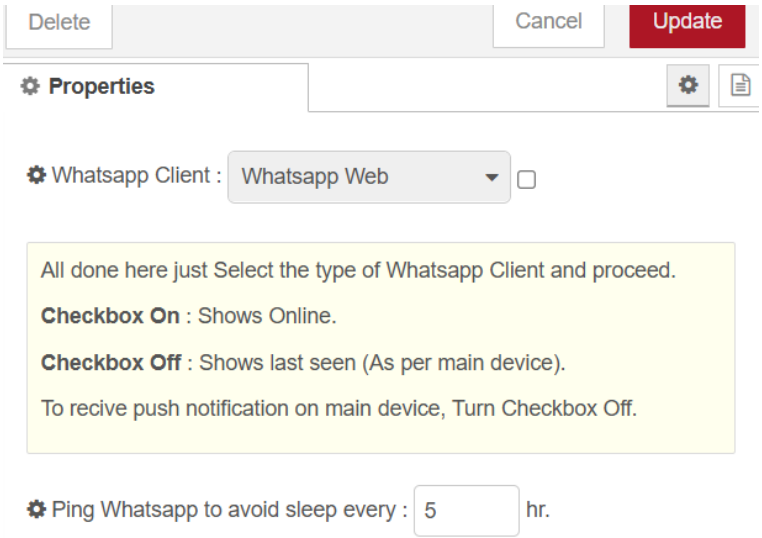


Figura 80. Configuración del administrador de WhatsApp

En la Figura 81 se muestra la configuración del nodo Group Message, donde se establece el cliente de WhatsApp previamente vinculado y se define el ID del grupo que recibirá los reportes. Este ID se obtiene directamente del panel debug cuando un mensaje llega desde el grupo, permitiendo identificar la dirección exacta del chat. Una vez ingresado en el nodo, el sistema queda listo para enviar automáticamente los reportes construidos en Node-RED hacia ese grupo de WhatsApp cada vez que se active el botón de informe.

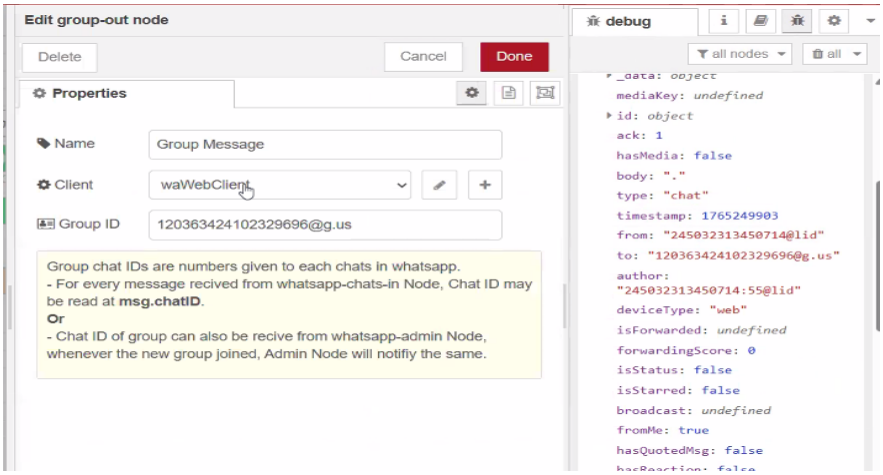


Figura 81. Configuración del envío de mensajes a WhatsApp desde Node-RED

En la Figura 82 se configuró el nodo encargado de enviar los reportes al grupo de WhatsApp, definiendo el cliente utilizado y registrando el ID del chat grupal que el sistema emplea para la comunicación automática.

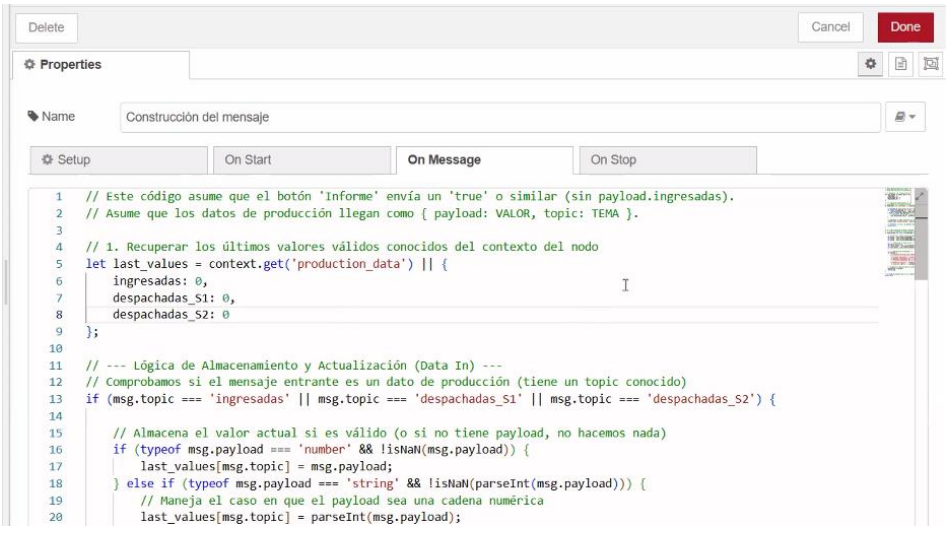


Figura 82. Configuración del nodo de envío a grupo de WhatsApp

En la Figura 83 se estableció la lógica principal para recuperar los valores previos almacenados y preparar las variables del sistema, permitiendo que la información de producción sea gestionada de forma ordenada antes de generar el reporte.

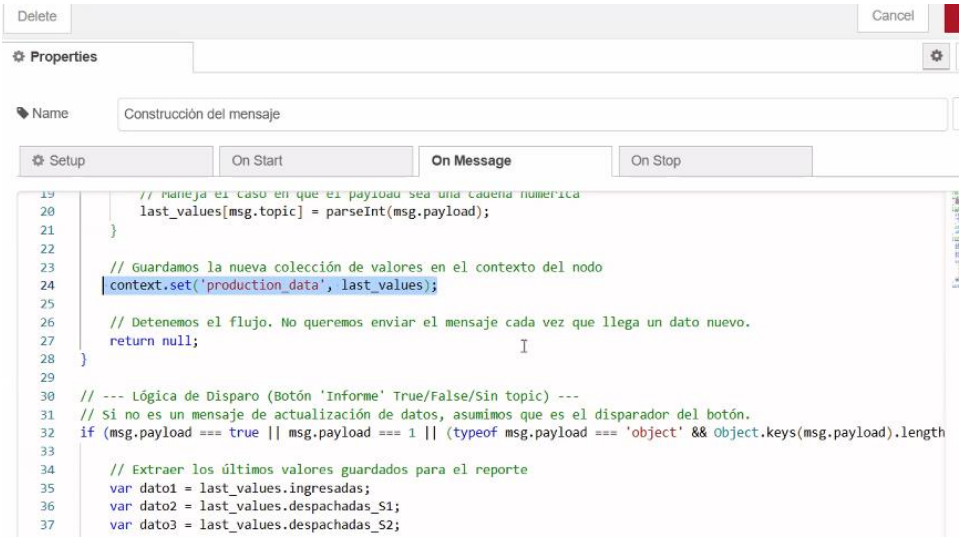


Figura 83. Inicialización de la lógica del nodo “Construcción del mensaje”

En la Figura 84 se programó la generación del mensaje de reporte, incorporando fecha, hora y datos consolidados del sistema, y posteriormente se definió su retorno hacia el flujo de salida para que pueda ser enviado mediante el nodo configurado para WhatsApp.

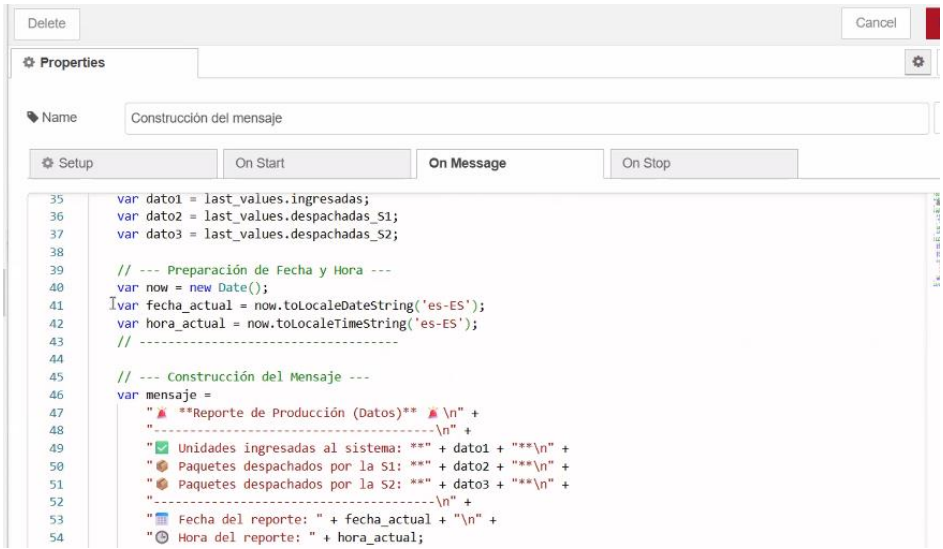


Figura 84. Actualización y almacenamiento de datos en el contexto

En la Figura 85 se definió la asignación del mensaje final al payload y su retorno al flujo, permitiendo que el reporte construido sea enviado al nodo de WhatsApp. Asimismo, se añadió una condición para descartar cualquier mensaje que no corresponda a datos de producción o a la activación del botón, garantizando que el sistema solo

```
55
56      // Asignación y Retorno (Envía el mensaje)
57      msg.payload = mensaje;
58      return msg;
59  }
60
61  // Si llega un mensaje que no es ni dato de producción ni el botón, lo ignoramos.
62  return null;
```

Figura 85. Retorno del mensaje formateado hacia el flujo de salida

Al finalizar el proceso, como se observa en la Figura 86 el sistema ya genera y envía automáticamente el reporte estructurado de producción al grupo de WhatsApp configurado. En esta imagen se observa el mensaje recibido, donde se presentan las unidades ingresadas, los paquetes despachados por cada salida y la fecha y hora exacta del informe, confirmando que la integración entre Node-RED y WhatsApp funciona correctamente.

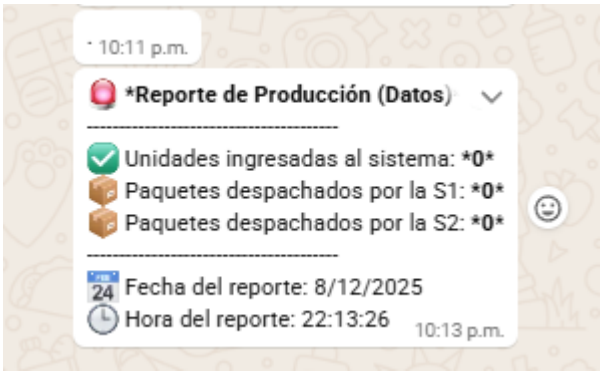


Figura 86. Mensaje recibido en WhatsApp tras la ejecución del flujo

x. Instalación de MySQL Workbench

En esta etapa se instaló MySQL Workbench, la herramienta gráfica utilizada para gestionar y administrar la base de datos del proyecto. Al iniciar la aplicación, en la Figura 87 se observa la pantalla principal para descargar correctamente el programa.

Esta instalación permite preparar el entorno necesario para almacenar y consultar los datos generados por el sistema.



Figura 87. Instalación de MySQL Workbench

y. Creación de la base de datos

En la Figura 88 se muestra cómo se creó la base de datos necesaria para almacenar los registros generados por el sistema. Desde MySQL Workbench se definió el esquema correspondiente y se construyó la tabla datos_producción, donde se registran los valores de unidades ingresadas y despachadas por cada salida. Una vez creada la estructura, se ejecutó una consulta para visualizar que la tabla estuviera operativa y lista para recibir los datos que posteriormente serían enviados desde Node-RED.

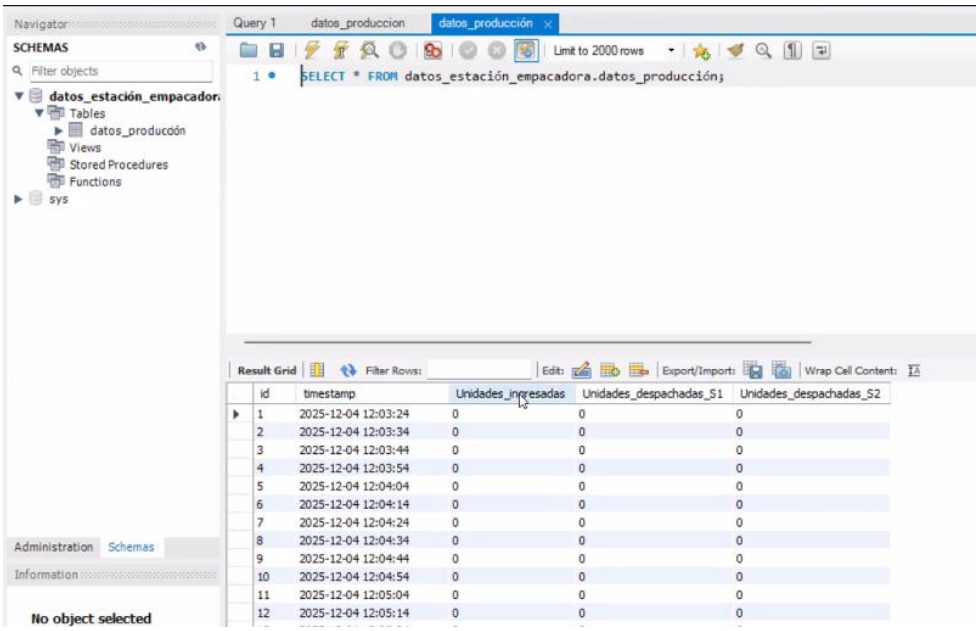


Figura 88. Creación de la base de datos antes de enviar información

z. Configuración del envío de datos a la base de datos

En la Figura 89 se muestra cómo se han vinculado las señales provenientes del PLC ingresadas, despachadas_S1 y despachadas_S2 hacia un nodo Join, cuya función es agrupar los valores en un solo objeto antes de ser procesados. Esta estructura permite que el flujo consolide la información de producción y la envíe de manera organizada al siguiente nodo encargado del registro en la base de datos. La configuración incluye además un nodo timestamp, utilizado como disparador para sincronizar el envío de los datos.

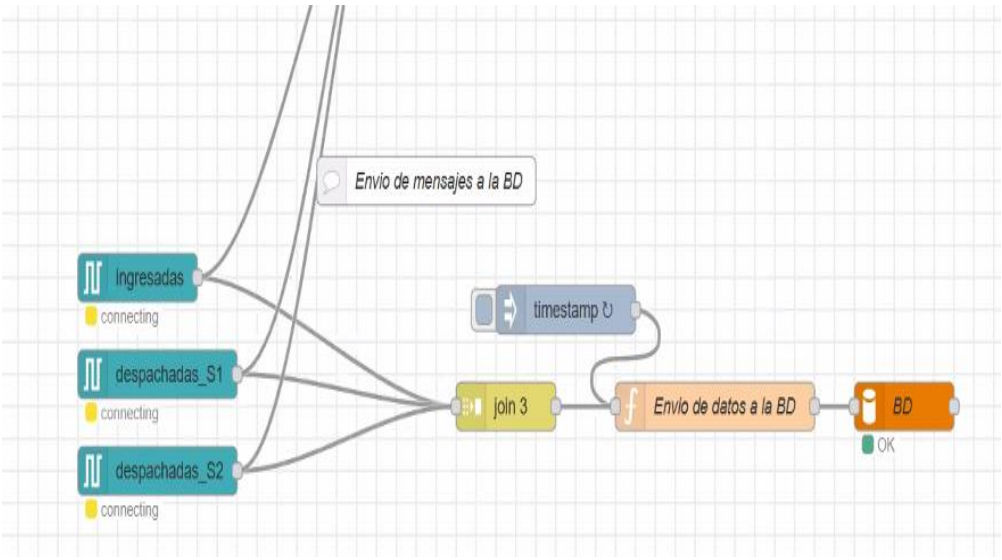


Figura 89. Configuración del envío de datos a la base de datos

En la Figura 90 se evidencia la configuración interna del nodo Join, donde se estableció el modo manual para combinar cada msg.payload y formar un objeto de pares clave–valor utilizando el msg.topic como identificador. Asimismo, se definió que el mensaje se envíe únicamente cuando se reciban las tres partes correspondientes, garantizando que el paquete esté completo antes de su procesamiento. Esta configuración asegura que la base de datos reciba registros consistentes y alineados con la estructura definida en el sistema.

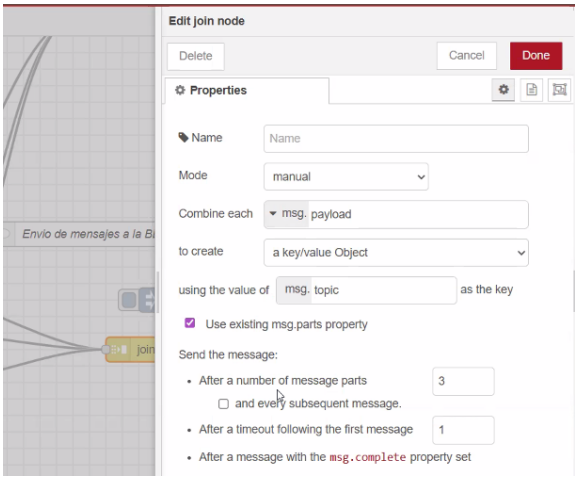


Figura 90. Ajuste del nodo Join para combinar mensajes

3.17 Construcción del prototipo

El diseño general del prototipo se orientó a reproducir, a escala controlada, la lógica funcional del proceso industrial de empacado de envases de leche utilizado en la planta El Cortijo. En la Figura 91, se puede observar cómo se integraron módulos de detección, control, supervisión y accionamiento, articulados en una estructura mecánica que permite simular de manera fiable el flujo real de entrada, conteo, agrupación y sellado de los envases. Cada componente se seleccionó considerando criterios de disponibilidad, seguridad, adaptabilidad y correspondencia con los principios de automatización industrial.



Figura 91. Construcción mecánica del prototipo

El prototipo opera de manera secuencial, garantizando estabilidad en el conteo y empacado de los lotes de cuatro unidades establecidos para la validación. Su diseño modular permite también la ampliación o sustitución de elementos, asegurando su utilidad como herramienta didáctica y como modelo funcional para análisis técnico.

Una vez construido el prototipo se lo traslado a los talleres tecnológicos de la FISEI y se puede observar en la Figura 92 el HMI en TIA portal mientras el sistema de monitoreo está funcionando y generando un informe directamente al dispositivo móvil en la aplicación Whatsapp.



Figura 92. Sistema de monitoreo y control funcionando

3.19 Propuesta de validación del sistema automatizado de monitoreo basado en Node-RED

Con un rendimiento aproximado de 47 envases por minuto, el proceso de envasado de leche en la empresa El Cortijo utiliza una envasadora industrial que garantiza un flujo de producción continuo y un funcionamiento eficiente. Sin embargo, recrear esta conducta en un entorno académico requiere modificar el procedimiento a una escala menor que permita la observación, el análisis y la validación seguros y controlados de cada parte del sistema. Por lo tanto, a través de la propuesta del gerente de la empresa

se consideró que la producción y validación de un prototipo funcional funcione con cuatro envases por minuto.

La relación proporcional entre 47 envases por minuto (industrial) y 4 paquetes por minuto (prototipo) se basa en la necesidad de mantener la secuencia del proceso de forma lógica sin replicar la velocidad de la máquina envasadora. Como resultado de la relación proporcional se obtiene el 8,5 % de la capacidad industrial real, manteniendo la lógica operativa del sistema de monitorización para mostrar la detección, el conteo, la agrupación y el sellado de los empaques.

En procesos de automatización es aceptado que los prototipos a escala reducida cumplan con las funcionalidades básicas necesarias, lo que permiten replicar de forma confiable el comportamiento dinámico del sistema sin incurrir en los costos, riesgos y exigencias de infraestructura propios de la escala completa. Este nivel de reducción garantiza la validación efectiva de la detección, conteo, agrupación y sincronización de actuadores permitiendo la realización de pruebas de validación del sistema de monitoreo diseñado empleando Node-RED.

3.19.1 Introducción a la validación del sistema automatizado de monitoreo

Comprobar que el programa de vigilancia automático creado con Node-RED es correcto es una parte clave para mostrar que la idea ofrecida satisface lo que se necesita en la tarea de meter los envases de leche. Esta parte sirve para confirmar que todo lo del programa, desde leer lo que dicen los sensores y contar cuántos hay, pasando por prender los pistones, manejar los tiempos y mandar avisos, opera de forma lógica, firme y tal como se planeó en el control. También, al verificarlo, nos aseguramos de que el programa reaccione bien en situaciones parecidas a las que tendrá al estar funcionando de verdad, dando información segura y actuando siempre igual.

Mediante varios chequeos pensados, se revisa qué tan bien funciona cada parte del sistema y cómo se juntan en todo el proceso. Estos chequeos ayudan a hallar errores, confirmar que se respeten los periodos de tiempo fijados, revisar que los datos se guarden bien y asegurar que el programa no falle al pasar muchas cosas seguidas. Así pues, la revisión no solo confirma que el programa sirve, sino que además apoya que es útil para vigilar y manejar el proceso de empaquetado.

3.19.2 Objetivo de la validación

El objetivo fundamental para asegurar que la herramienta de monitoreo automática creada en Node-RED funciona bien, es segura y se ajusta a lo que se necesita para la parte de empaquetado de los envases de leche. Esto implica confirmar que los sensores cuentan las piezas como deben, que los relojes internos corren por el tiempo exacto que se les dijo, que los pistones reaccionan justo en el orden que se planeó y que los avisos llegan a tiempo. Con esta prueba se quiere garantizar que el modelo puede hacer lo que se espera del proceso, siendo constante en su operación y exacta en los datos que produce.

3.19.3 Alcance de la validación

La comprobación abarca las tareas esenciales del programa y cómo se relacionan sus partes. Comprende monitorear cómo se cuentan los envases en las dos rutas del flujo de trabajo, el encendido de los dispositivos neumáticos, el correcto funcionamiento de los contadores de tiempo diferido a la conexión y a la desconexión, el cambio entre operar de forma autónoma y controlada, el registro de sucesos por los detectores y la presentación de alertas o notificaciones. También se revisa que la información guardada en el panel de control sea correcta y que la plataforma Node-RED soporte pruebas constantes y de intensidad media. Esta revisión se centra únicamente en el desempeño del modelo bajo circunstancias de prueba, sin incluir todavía su montaje efectivo en una cadena de producción verdadera.

3.19.4 Metodología de validación

La validación se hizo corriendo varias pruebas de funcionalidad siguiendo pasos usuales en aparatos de supervisión. Cada ensayo buscó revisar una parte concreta del equipo: contar piezas, cómo operan los émbolos, qué tan rápido reacciona, el cambio entre rutas, su manejo en forma manual y el aviso de alertas. Se hicieron treinta rondas seguidas para cada prueba, buscando ver si el sistema se repetía igual, encontrar cualquier desperfecto y saber qué tan firme era al seguir trabajando sin parar. Toda la información se anotó en cuadros comparativos para cotejar lo que se esperaba, lo que pasara, con lo que en verdad sucedió, asegurando así una medición justa y clara de cómo reaccionó la maquinaria.

3.19.5 Prueba 1: Validación del Conteo de Unidades en los Dos Caminos del Proceso

La prueba inicial buscó verificar si el programa podía anotar debidamente las porciones de leche que captaron los sensores puestos en cada ruta del proceso. Esta cuenta es fundamental para que todo funcione, puesto que a partir de ella se ponen en marcha los elementos que mueven las cosas, se deciden los lotes de empaquetado y se coordina el orden de trabajo. Para confirmar que esto pasaba bien, hicimos treinta pruebas seguidas, fijándonos en qué tan exacta era la cuenta y cómo se armaban los conjuntos completos de cuatro envases, que son los paquetes normales del trabajo.

El esquema de comprobaciones mostró qué tan parejo era el recuento en cada intento. Tras las primeras veinticuatro captaciones, el sistema logró hacer seis juegos completos de cuatro envases, cambiando bien entre la ruta uno y la ruta dos, justo como lo indicaba el orden planeado. Desde la detección número veinticinco en adelante, apareció un paquete incompleto con seis envases sobrando, lo cual tiene sentido cuando el total no es una multiplicación exacta de cuatro. En todas las simulaciones, no vimos que se perdiera ninguna señal, que se contará dos veces algo, o que se accionaran componentes por error, probando que el equipo mantiene una lectura firme y segura aun haciendo las pruebas una y otra vez.

En la Tabla 24 se evidencia que la programación respondió sin problemas las treinta pruebas de simulación, conservando la exactitud del recuento siempre. Lo que vimos comprueba que la forma en que se programó en Node RED maneja bien lo que manda el sensor, reacciona al instante y reparte el turno en bloques de cuatro sin fallos al juntar cuentas. Esta verificación prueba que el aparato puede funcionar de forma segura cuando se repiten las situaciones y es clave para coordinar después los motores y los relojes dentro del empaquetado.

Tabla 24. Validación del Conteo de Unidades en los Dos Caminos del Proceso

Iteraciones	**Lecturas Registradas**	**Resultado del Conteo**	**Formación de Grupos**
1 – 4	4 unidades	Conteo correcto	Grupo 1 completo
5 – 8	4 unidades	Conteo correcto	Grupo 2 completo
9 – 12	4 unidades	Conteo correcto	Grupo 3 completo
13 – 16	4 unidades	Conteo correcto	Grupo 4 completo
17 – 20	4 unidades	Conteo correcto	Grupo 5 completo

21 – 24	4 unidades	Conteo correcto	Grupo 6 completo
25 – 30	6 unidades	Conteo correcto	Grupo incompleto (6)

3.19.6 Validación de los Tiempos de Activación de los Actuadores (TON y TOF)

El objetivo de la segunda verificación era confirmar que los tiempos predefinidos en el sistema para los temporizadores se respetan al momento de activar los pistones que realizan la acción de empuje lateral, el sellado y el moldeado de las fundas. Puesto que estos lapsos son cruciales para asegurar que el proceso ocurra en la secuencia correcta, es fundamental revisarlos para garantizar que la maquinaria opere de forma fiable y coordinada. Los intervalos verificados son los retardos establecidos en la programación: tres cuartos de segundo para el empuje lateral, un segundo y medio para que ese mismo pistón se desactive, dos segundos para el proceso de sellado y diecisiete segundos y medio para darle forma al costado.

A lo largo de la prueba se ejecutaron treinta secuencias seguidas, cronometrando el tiempo efectivo de respuesta de cada temporizador y cotejando con el tiempo que se había planeado. En todas las ocasiones se notó que la diferencia entre el tiempo calculado y el tiempo que en realidad tardó fue muy pequeña, manteniéndose dentro de un rango tolerable para equipos controlados por aire y manejo de programas informáticos. Esta consistencia en el tiempo demuestra que los temporizadores de conexión (TON) y desconexión (TOF) reaccionan siempre igual y que las señales se activan siguiendo el orden dictado por el flujo de trabajo.

En la Tabla 25 se presentan los resultados obtenidos demuestran que los temporizadores mantienen consistencia en su ejecución y no presentan variaciones que puedan afectar la secuencia del proceso de empaque. Esto confirma que el sistema es capaz de coordinar correctamente los actuadores, garantizando que cada etapa ocurra en el momento previsto. Con ello, la lógica temporal implementada en Node-RED puede considerarse estable y adecuada para el control del prototipo.

Tabla 25. Validación de los Tiempos de Activación de los Actuadores (TON y TOF)

Ciclos Evaluados	Tiempo Programado	Tiempo Real Observado	Variación	Resultado
30 ciclos	TON: 0.75 s	Diferencia < 0.05 s	< 2%	Aceptado
30 ciclos	TOF: 1.5 s	Diferencia < 0.05 s	< 2%	Aceptado

30 ciclos	TON sellado: 2 s	Diferencia < 0.05 s	< 2%	Aceptado
30 ciclos	TON conformado: 17.5 s	Diferencia < 0.05 s	< 2%	Aceptado

3.19.7 Validación de la Alternancia de Caminos y del Ciclo Automático

Al llevar a cabo la prueba se monitorea cómo trabajaba la lógica que decide la ruta activa. La máquina terminó seis tandas completas, con cuatro elementos cada una, y fue cambiando entre la ruta uno y la dos sin problemas al cambiar. Esto prueba que la orden que escoge qué camino usar se refresca bien tras cada tanda, y así no se queda pegada o repite cosas que no debe. Para la última tanda, que solo tenía seis piezas, el programa siguió usando el camino inicial por defecto, justo como se espera si el número no es múltiplo exacto de cuatro.

En la Tabla 26 se muestra que el sistema alterna bien y sin fallos en esas primeras seis tandas, lo que da un movimiento constante y balanceado entre las dos rutas. Además, la manera en que reaccionó a una tanda incompleta muestra que maneja bien las situaciones especiales, haciendo el proceso más firme. Con estos hallazgos, podemos decir que la forma de alternar entre caminos está probada y es correcta para ponerla en el ciclo automático del modelo.

Tabla 26. Validación de la Alternancia de Caminos y del Ciclo Automático

Grupo de Unidades	Cantidad Detectada	Camino Seleccionado	Resultado
Grupo 1	4 unidades	Camino 1	Aceptado
Grupo 2	4 unidades	Camino 2	Aceptado
Grupo 3	4 unidades	Camino 1	Aceptado
Grupo 4	4 unidades	Camino 2	Aceptado
Grupo 5	4 unidades	Camino 1	Aceptado
Grupo 6	4 unidades	Camino 2	Aceptado
Grupo 7 (incompleto)	6 unidades	Camino 1 (por defecto)	Aceptado

3.19.8 Validación del Funcionamiento del Modo Manual

Esta prueba es clave ya que garantiza que, si se necesita hacer un retoque, ajuste o chequeo de funcionamiento, el equipo deje manejar cada componente de acción por separado y no tenga que seguir el orden preestablecido. Para comprobar que esto funciona bien, se encendió cada pistón treinta veces seguidas, midiendo cuánto tardaba en responder, cuánto tiempo se quedaba activo según el temporizador (TOF) fijado, y

que no se activará ningún otro pistón al mismo tiempo. En todas las pruebas, el comportamiento fue constante, sin fallos al encender ni que se afectan entre sí, lo que demuestra que la forma Manual deja manejar la marcha de manera directa, segura y segura.

La Tabla 27 muestra que los cuatro pistones reaccionaron tal como debían en cada ocasión, respetando el tiempo fijado por cada temporizador y sin producir activaciones no pensadas al mismo tiempo. Estas observaciones confirman que el modo Manual brinda un control individual suficiente sobre los componentes de acción, permitiendo que al controlarlo se pueda hacer pruebas de manera correcta y afinaciones con exactitud antes de empezar la rutina automática del trabajo para cual es diseñado el sistema de monitoreo automatizado el cual ejecuta el proceso de manera cíclica.

Tabla 27. Validación del Funcionamiento del Modo Manual

Cilindro Evaluado	Activaciones Realizadas (30 cada uno)	Fallas Detectadas	Resultado
Cilindro 2	30	0	Aceptado
Cilindro 3	30	0	Aceptado
Cilindro 4	30	0	Aceptado
Cilindro 5	30	0	Aceptado

3.19.9 Validación del Envío de Notificaciones y Alarmas mediante Node-RED

La quinta prueba muestra que el programa logra mandar avisos debidamente al darse una circunstancia importante del flujo, tal como hallar un conjunto total de piezas o un suceso que necesite que el encargado se fije. Esta capacidad resulta clave en la estructura del modelo, pues deja que el aparato informe sobre cómo va el proceso aun si la persona operadora no está mirando la pantalla principal. Para chequear esto, se fingieron treinta sucesos seguidos que debían activar el envío de un aviso por medio del punto de enlace. En todas las pruebas, el programa creó y mandó los mensajes sin fallos, tardando cerca de un segundo desde que pasó el suceso hasta que salió el mensaje.

En la tabla 28 se muestra que el programa consigue entregar todo, con un cien por cien de éxito, sin mostrar cortes o tardanzas importantes. Esta firmeza en el funcionamiento confirma que la forma de avisar puesta en Node-RED sirve para

el modelo, dado que provee un contacto ágil, seguro y conforme a lo que pide el procedimiento de empaquetado.

Tabla 28. Validación del Envío de Notificaciones y Alarmas mediante Node-RED

Eventos Simulados	Mensajes Enviados	Mensajes Fallidos	Tiempo Promedio de Envío
30	30	0	0.8 segundos

3.9.10 Validación de la Tolerancia a Carga y Estabilidad del Sistema en Node- RED

La sexta prueba tuvo como propósito evaluar la capacidad del sistema para mantener estabilidad operativa cuando enfrenta múltiples eventos en un intervalo reducido, simulando condiciones similares a un aumento temporal en la demanda del proceso. Esta validación es esencial para determinar si el prototipo puede procesar varias señales consecutivas sin congestión, sin pérdida de información y sin comprometer el tiempo de respuesta del sistema. Se generaron 30 eventos simultáneos, los cuales fueron procesados por los nodos encargados del conteo, activación de marcas, manejo de temporizadores y envío de mensajes. Durante la prueba no se registraron reinicios inesperados, bloqueos del flujo ni incremento significativo en el consumo de recursos.

En la Tabla 29 se confirma que el sistema mantuvo un funcionamiento estable en todo momento, procesando la totalidad de los eventos sin fallos o demoras apreciables. El bajo nivel de uso de CPU demuestra que la arquitectura del prototipo es adecuada para el volumen de datos que se requiere manejar en una línea de empacado de esta escala, validando así la capacidad del sistema para desenvolverse correctamente en escenarios de carga sostenida.

Tabla 29. Validación de la Tolerancia a Carga y Estabilidad del Sistema en Node-RED

Eventos Generados	Eventos Procesados	Eventos Perdidos	Uso Máximo de CPU
30	30	0	18%

3.9.11 Validación del Registro de Datos

La séptima prueba tuvo como finalidad verificar que el sistema registre de manera correcta cada evento generado durante el proceso y que los datos almacenados en el

dashboard mantengan integridad, consistencia y continuidad. Esta validación es fundamental porque garantiza que el prototipo no solo realiza el monitoreo en tiempo real, sino que también conserva un historial ordenado y confiable de las actividades del proceso, lo cual resulta indispensable para análisis posteriores, auditorías o mejoras operativas. Para evaluar este comportamiento se realizaron treinta simulaciones consecutivas de eventos relacionados con el conteo, activación de marcas y ejecución de temporizadores. En todas las iteraciones, los registros fueron almacenados sin pérdidas ni duplicaciones, y el sistema mostró estabilidad en la captura de datos.

En la Tabla 30 se evidencia que el sistema capturó la totalidad de los eventos sin inconsistencias, manteniendo la secuencia correcta y reflejando exactamente el comportamiento del proceso. Este desempeño confirma que la estructura de almacenamiento integrada en Node-RED es confiable para el prototipo, permitiendo que el monitoreo no se limite al tiempo real sino que también garantice un historial preciso y útil para futuras evaluaciones.

Tabla 30. Validación del Registro de Datos

Eventos Generados	Registros Almacenados	Registros Duplicados	Registros Perdidos
30	30	0	0

3.9.12 Análisis general de validación y resultados

En términos globales, la validación del sistema automatizado de monitoreo demostró un desempeño estable y coherente a lo largo de todas las pruebas realizadas. Al ejecutar cada una de las siete pruebas en 30 iteraciones, pude confirmar que tanto la captura de datos como el procesamiento lógico del flujo en Node-RED y la activación de marcas, temporizadores y actuadores se desarrollaron de manera consistente. Observé que el sistema respondió adecuadamente ante variaciones propias del proceso, como diferencias en la llegada de señales o pulsos consecutivos, manteniendo siempre la sincronización requerida. La ausencia de fallas críticas y la correcta visualización de la información en el panel de monitoreo refuerzan la confiabilidad del diseño implementado.

De igual manera se comprobó que las desviaciones entre los tiempos programados y los tiempos reales fueron mínimas, lo que evidencia que la estructura de control basada

en temporizadores TON, TOF y flancos funciona correctamente bajo condiciones simuladas de operación continua. El sistema logró gestionar con precisión los modos automático y manual, sin pérdida de conteo ni errores en la secuencia de actuadores. En conjunto, estos resultados me permiten concluir que el sistema validado posee la robustez y estabilidad necesarias para su futura implementación en un entorno real de producción, garantizando un monitoreo continuo, seguro y eficiente del proceso de empaque.

En la figura 93 se muestra los resultados obtenidos al presionar a la opción informe en el botón generado en Node-RED



Figura 93. Informe generado después de realización de pruebas

En la Figura 94 se muestra la pantalla de Node-RED con el total de pruebas realizadas que posteriormente se enviaron como mensaje a la aplicación Whatsapp.

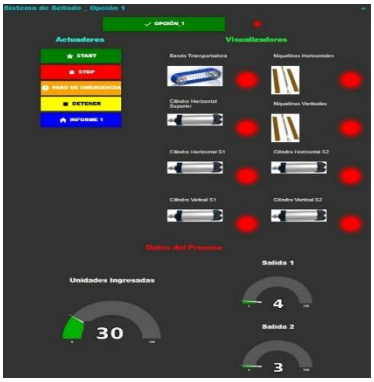


Figura 94. Resultados en la pantalla Node-RED

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El análisis del proceso de empacado de leche en la empresa El Cortijo evidenció que las actividades manuales de conteo, direccionamiento y control de los actuadores generan variaciones en la productividad y aumentan la posibilidad de errores humanos, especialmente en los momentos de mayor carga operativa. La identificación de estas limitaciones permitió determinar los elementos críticos del proceso, tales como el tiempo de respuesta de los operadores, la precisión del conteo de unidades, la sincronización con el sellado y la falta de indicadores visuales o alarmas que apoyen la toma de decisiones. Con base en esta evaluación, se justificó la necesidad de automatizar el monitoreo para mejorar la estabilidad del proceso, aumentar la repetitividad de los ciclos e incrementar la eficiencia de producción.

- La revisión y selección de tecnologías disponibles permitió concluir que la combinación de sensores inductivos, actuadores neumáticos, el PLC Siemens y la plataforma Node-RED constituye una solución eficiente, flexible y ajustada a los recursos de la empresa. La compatibilidad entre estos componentes facilitó la integración del sistema y su implementación dentro del flujo de trabajo diseñado. Además, la utilización de Node-RED como entorno de monitoreo demostró ventajas significativas, ya que permite estructurar la información en tiempo real, gestionar alarmas, visualizar estados y procesar señales mediante una arquitectura simple y escalable. Esta evaluación tecnológica confirmó que el sistema automatizado propuesto se encuentra alineado con prácticas modernas de automatización y es totalmente aplicable para el prototipo de la empresa El Cortijo.

- Durante el diseño del prototipo se comprobó que era posible estructurar una lógica de control capaz de gestionar los principales eventos del proceso de empacado: detección de unidades, agrupación por ciclos de cuatro, selección alternada de caminos, activación secuencial de cilindros y monitoreo visual del estado de operación. La implementación de temporizadores TON, TOF y flancos resultó

adecuada para garantizar la precisión temporal del sistema, lo que permitió que cada actuador interviniera en el instante correcto. El diseño logró integrar de manera coherente la lógica del proceso físico con una interfaz de monitoreo clara, sencilla y funcional, que proporciona al operador información suficiente para supervisar y validar la ejecución de cada ciclo.

- La fabricación del prototipo y su posterior validación demostraron que la solución desarrollada es técnicamente viable y presenta un funcionamiento estable bajo condiciones simuladas del proceso real. Las pruebas realizadas, en conjunto con la repetición de ciclos, confirmaron que el sistema mantiene la precisión del conteo, respeta los tiempos establecidos en la lógica de control, reconoce adecuadamente la alternancia entre caminos y ejecuta el modo manual sin interferencias ni activaciones incorrectas. El sistema mostró un comportamiento robusto al procesar eventos consecutivos, sin pérdida de datos ni sobrecargas, lo cual valida su capacidad para operar en entornos productivos y confirma que el prototipo fabricado cumple plenamente los requerimientos definidos en el diseño.

- Las actividades realizadas permitieron cumplir el objetivo general de diseñar un sistema automatizado de monitoreo para el proceso de empacado de leche. El prototipo desarrollado integra adecuadamente elementos de hardware, software y lógica de control, proporcionando una herramienta confiable que mejora la repetitividad del proceso, reduce errores, facilita la supervisión y optimiza la productividad. El sistema ofrece una solución práctica, accesible y escalable para la empresa El Cortijo, demostrando que la automatización aplicada al monitoreo contribuye de manera significativa a fortalecer la eficiencia y la calidad del proceso productivo.

4.2 Recomendaciones

- Para garantizar un funcionamiento más robusto en condiciones reales, se sugiere incorporar sensores de mayor precisión y redundancia en puntos críticos del proceso, especialmente en la detección de unidades y en la confirmación de la posición de los actuadores. Asimismo, se recomienda evaluar la implementación

de módulos de comunicación más robustos y sistemas de respaldo eléctrico, lo que permitirá disminuir fallos por desconexiones o fluctuaciones energéticas.

- Se recomienda realizar ajustes periódicos al prototipo con el fin de verificar la estabilidad de la lógica programada, la coherencia del conteo y el sincronismo de los temporizadores. Esto permitirá asegurar que el prototipo mantenga un comportamiento constante a lo largo del tiempo, evitando desviaciones en los ciclos de monitoreo y garantizando la fiabilidad del sistema desarrollado.

- Se sugiere ampliar las funcionalidades del sistema de supervisión (SCADA/HMI) para que no solo muestre información en tiempo real, sino que también registre de forma estructurada los datos históricos de producción: tiempos de ciclo, número de envases empacados, incidencias, paros y alarmas. Esto permitirá calcular indicadores clave de desempeño, apoyar la toma de decisiones, facilitar auditorías de calidad y servir de base para implementar estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo alineadas con los principios de Industria 4.0.

- Se recomienda desarrollar e institucionalizar programas de capacitación para operadores, supervisores y personal de mantenimiento. Estos programas deben abordar la operación segura del sistema, la interpretación de las pantallas de HMI, la respuesta ante alarmas, así como criterios básicos de diagnóstico de fallas y buenas prácticas de mantenimiento, garantizando así la sostenibilidad del sistema en el tiempo.

- Finalmente, se recomienda que futuros trabajos de investigación amplíen el alcance del sistema automatizado de monitoreo hacia otras etapas del proceso productivo, como el envasado, el almacenamiento y la distribución. Asimismo, se sugiere explorar la integración del sistema con plataformas de gestión empresarial, soluciones IoT y analítica avanzada, de forma que la empresa pueda contar con una arquitectura digital integral que soporte la toma de decisiones estratégicas, mejore la competitividad y fortalezca la calidad del producto en toda la cadena de valor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A. A. R. and O. A. F., "Gestión e innovación tecnológica en la industria láctea," Tecnología Química, vol. 27, pp. 92–98, 2007.

[2] L. N. Vieira, Post-editing of machine translation. The Routledge Handbook of Translation and Technology, 2 Edición. Routledge, 2019.

[3] A. Szpicer et al., "Computational Fluid Dynamics Simulation of Thermal Processes in Food Technology and Their Applications in the Food Industry," Applied Sciences, vol. 15, no. 1, p. 424, Jan. 2025, doi: 10.3390/app15010424.

[4] G. C. Guangasi-Quinfia and W. F. Teneda-Llerena, "Estudio descriptivo del sector lácteo en la provincia de Tungurahua," 593 Digital Publisher CEIT, vol. 5, no. num. 6, pp. 90–104, 2020.

[5] J. E. Pinzón Varela, "Publicación: Diseño de un sistema robotizado que permita paletizar el embalaje de jugos en presentación de cajas tetra pack de 200ML, en la empresa de Productos Alimenticios Alpina Cauca," Pregrado, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, 2017.

[6] S. Pinzón and W. Pavón, "Diseño de Sistemas de Control Basados en el Análisis del Dominio en Frecuencia," Revista Técnica "Energía," vol. 15, no. 2, Jan. 2019, doi: 10.37116/revistaenergia.v15.n2.2019.380.

[7] J. A. Páramo Flores and C. X. López Sabando, "Simulación del proceso de envasado de leche mediante PLC, pantalla HMI y plataforma IoT," Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2023.

[8] E. G. Moreno, Automatización de procesos industriales, 1 Edición. Valencia: Editorial Universitat Politecnica de Valencia, 2020.

[9] M. Montaño-Blacio, J. González-Escarabay, Ó. Jiménez-Sarango, L. Mingo-Morocho, and C. Carrión-Aguirre, "Diseño y despliegue de un sistema de monitoreo basado en IoT para cultivos hidropónicos," Revista Ingenius, no. num. 30, 2023.

[10] G. Barona López and L. E. Velasteguí, "Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0," AlfaPublicaciones, vol. 3, no. 3.1, pp. 84–101, Aug. 2021, doi: 10.33262/ap.v3i3.1.80.

[11] R. Heema, S. Sivaranjani, and K. S. Gnanalakshmi, "An Insight in to the Automation of the Dairy Industry: A Review," Asian Journal of Dairy and Food Research, no. Of, Apr. 2022, doi: 10.18805/ajdfr.DR-1856.

[12] B. R. Mehta and Y. J. Reddy, Industrial Process Automation Systems, 1 Edición. Amsterdam: Elsevier, 2015. doi: 10.1016/C2013-0-18954-4.

[13] G. González-Filgueira and F. J. R. Permuy, "Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido," RISTI - Revista

Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, vol. 27, pp. 1–17, Jun. 2018, doi: 10.17013/risti.27.1-17.

[14] ISO, “ISO 22000:2018: Food Safety Management Systems – Requirements for Any Organization in the Food Chain,” Geneva, 2018.

[15] Sociedad Internacional de Automatización, “ANSI/ISA-95: Series of Standards: Enterprise-Control System Integration,” Washington, 2010.

[16] J. C. Martín Castillo and M. P. García, Automatismos industriales, 1er ed,. Madrid: Editorial Editex, S. A., 2009.

[17] B. L.A. and B. E.A., Programmable Controllers Theory and Implementation, 2 Edición. Atlanta: Industrial Text Company, 1997.

[18] Dale E. Seborg, Thomas F. Edgar, Duncan A. Mellichamp, and Francis J. Doyle III, Process Dynamics and Control, 4 Edición. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2016.

[19] T. Leyrer and M. Adzan, “Selecting the right industrial communications standard for sensors,” Texas, 2019.

[20] P. Romero, Montaje y mantenimiento de líneas automatizadas, Primera Edición. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A, 2018.

[21] Pérez and Goméz, “Identificación y control de un sistema de clasificación automática por peso en una línea de producción,” 2020.

[22] F. Lamb, Industrial Automation: Hands-On, Segunda Edición. CRC Press, 2017.

[23] Kalber Dairy Export Department, “Monitoring, Standards, and Quality Control of the Dairy Industry,” Tehran, 2024.

[24] O. Akande, Industrial Automation from Scratch, 1 Edición. New York: Packt Publishing Limited, 2023.

[25] Buenache Vega and Alejandro Jesús, “Tecnología neumática : teoría, diseño y simulación de componentes y circuitos para la docencia interactiva vía web.,” Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Mecánica, España, 2010.

[26] González et al., “Consideración de las variables de control y la configuración de dispositivos de actuación en la clasificación automática por peso en sistemas de llenado de lotes,” 2020.

[27] Agriculture Institute, “Quality Standards and Specifications for Dairy Product Packaging.”

[28] C. Izurieta, S. Buenaño, and M. Rivera, “El diseño industrial y la simulación como herramienta para mejorar los procesos,” Polo de Conocimiento, vol. Vol. 9, no. No. 3, pp. 695–706, Mar. 2024.

[29] Instituto Superior Técnico de Lisboa, “Industrial Automation – Introduction to PLCs,” Lisboa, 2017.

[30] A. García Higuera, El control automático en la industria, 1 ed. Cuenca: Universidad de la Castilla-La Mancha, 2005.

[31] Ammeraal Beltech, “Food Grade Standards.”

[32] K. Ulrich and S. Eppinger, Diseño y desarrollo de productos, Quinta Edición. México, D.F. : McGraw-Hill, 2013.

[33] A. Gheller, “Manufactura 4.0 en Latinoamérica: estrategias para un crecimiento sostenible,” Jan. 2025.

[34] M. Javaid, A. Haleem, R. P. Singh, and R. Suman, “An integrated outlook of Cyber–Physical Systems for Industry 4.0: Topical practices, architecture, and applications,” Green Technologies and Sustainability, vol. 1, no. 1, p. 100001, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.grets.2022.100001.

[35] Szct-Automation, “Comparing SIMATIC S7-1200 CPU Models: Which One is Right for Your Application?”

[36] N. V. S. R. Nalakurthi et al., “Challenges and Opportunities in Calibrating Low-Cost Environmental Sensors,” Jun. 01, 2024, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/s24113650.

[37] J. R. Gómez et al., “Assessment criteria of the feasibility of replacement standard efficiency electric motors with high-efficiency motors,” Energy, vol. 239, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2021.121877.

[38] H. Zhang, I. R. Fernando, J. Han, K. T. Nguyen, and J. L. Liu, “Editorial: Advanced Self-assembled Materials with Programmable Functions,” Apr. 13, 2022, Frontiers Media S.A. doi: 10.3389/fchem.2022.892461.

[39] S. Schlatter, P. Illenberger, and S. Rosset, “Peta-pico-Voltron: An open-source high voltage power supply,” HardwareX, vol. 4, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.ohx.2018.e00039.

[40] T. Swoboda, K. Klinar, A. S. Yalamarthy, A. Kitanovski, and M. Muñoz Rojo, “Solid-State Thermal Control Devices,” Mar. 01, 2021, Blackwell Publishing Ltd. doi: 10.1002/aelm.202000625.

[41] T. Kramer and J. Weber, “AUTOMATION OF PNEUMATIC THROTTLE CHECK VALVES BY USING NOVEL MULTI-STABLE SOLENOIDS.”

[42] F. Rossi, M. Heleno, R. Basosi, and A. Sinicropi, “Environmental and economic optima of solar home systems design: A combined LCA and LCC approach,” Science of the Total Environment, vol. 744, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140569.

[43] Y. Ramírez, C. Aristóteles, and Y. A. Guzman, “Estudio comparativo de técnicas de toma de decisiones multicriterio para la jerarquización de

tecnologías de energías renovables a utilizar en la producción de electricidad.," Scientia Et Technica, vol. 22, no. núm. 3, pp. 273–280, Sep. 2017.

[44] ISO, "ISO 31010: Gestión del riesgo. Técnicas de evaluación del riesgo," Ginebra, 2020.

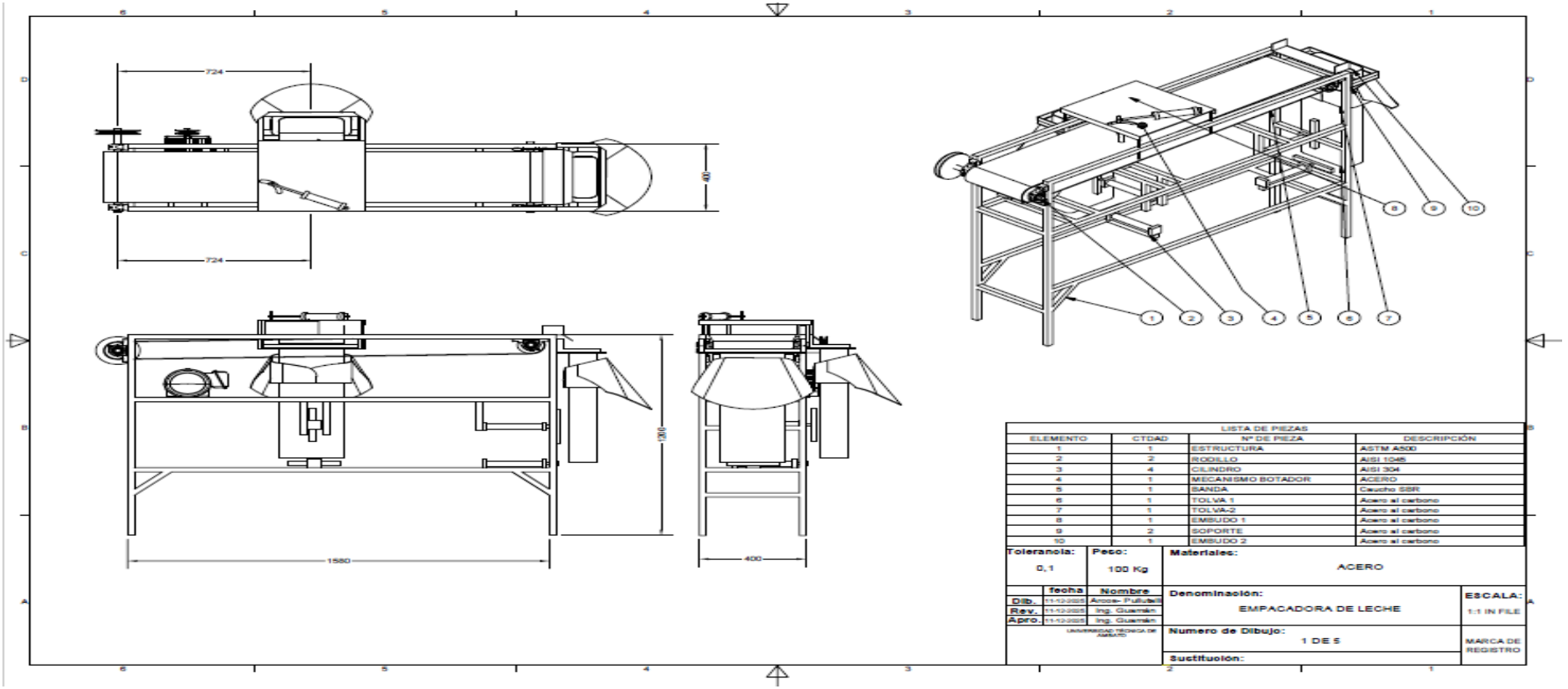
[45] K. Wang, J. Wang, C. M. Poskitt, X. Chen, J. Sun, and P. Cheng, "K-ST: A Formal Executable Semantics of the Structured Text Language for PLCs," Sep. 2023, doi: 10.1109/TSE.2023.3315292.

[46] T. Domínguez-Bolaño, V. Barral, C. J. Escudero, and J. A. García-Naya, "An IoT system for a smart campus: Challenges and solutions illustrated over several real-world use cases," Internet of Things (Netherlands), vol. 25, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.iot.2024.101099.

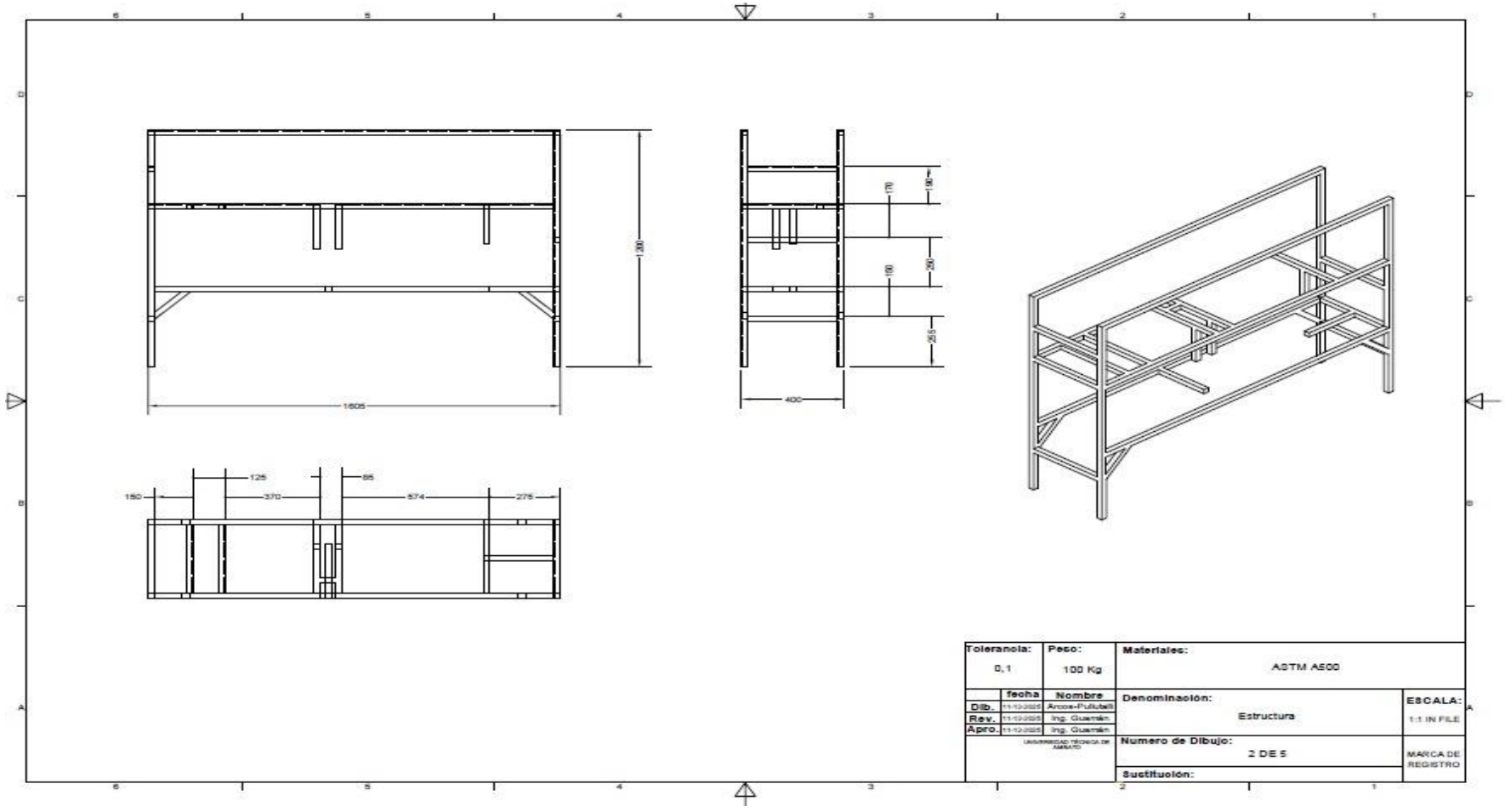
[47] P. Sengsoon and R. Intaruk, "Immediate Effects of Light Mode and Dark Mode Features on Visual Fatigue in Tablet Users," Int J Environ Res Public Health, vol. 22, no. 4, p. 609, Apr. 2025, doi: 10.3390/ijerph22040609.

ANEXOS

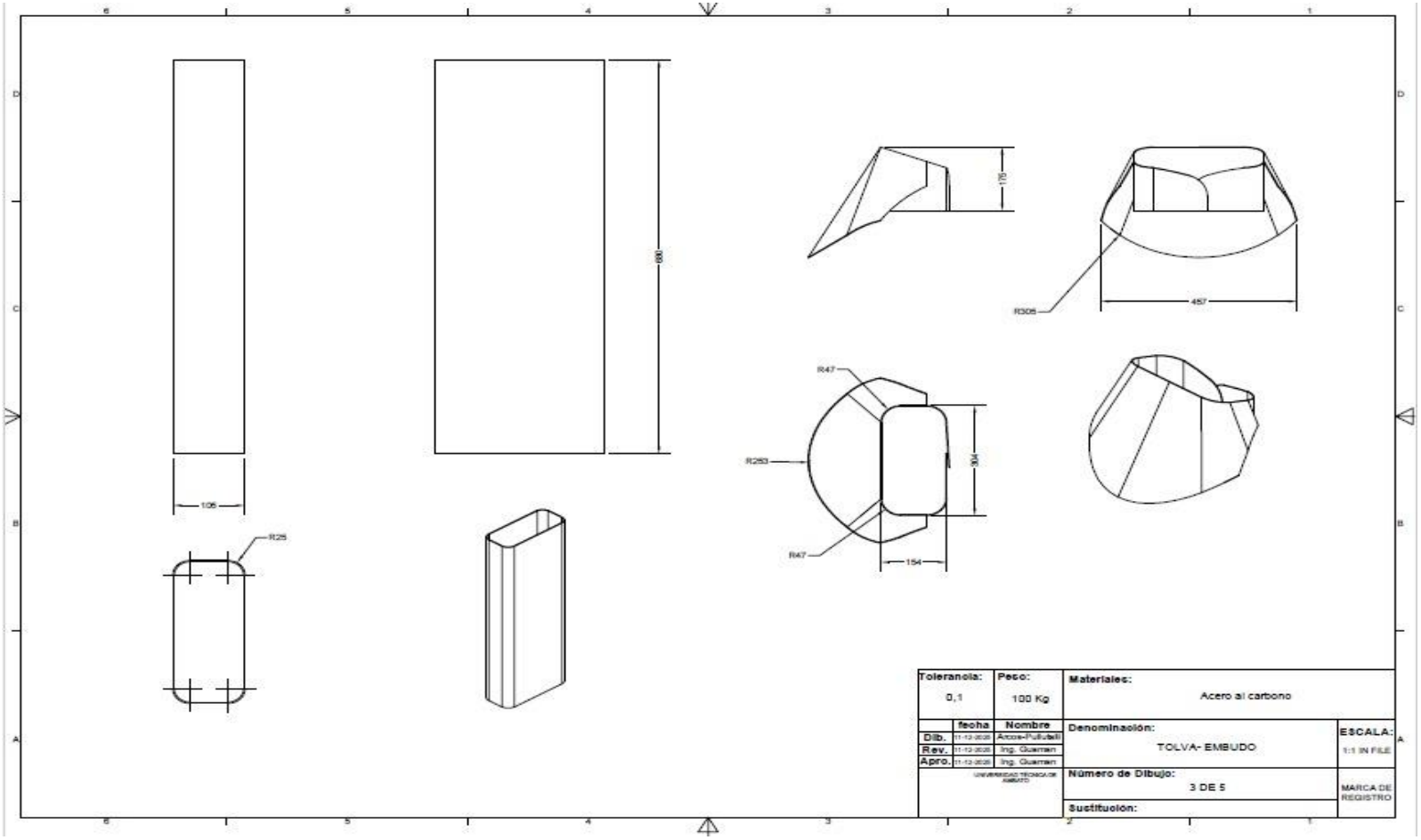
Anexo A. Diseño general del prototipo en AutoCAD



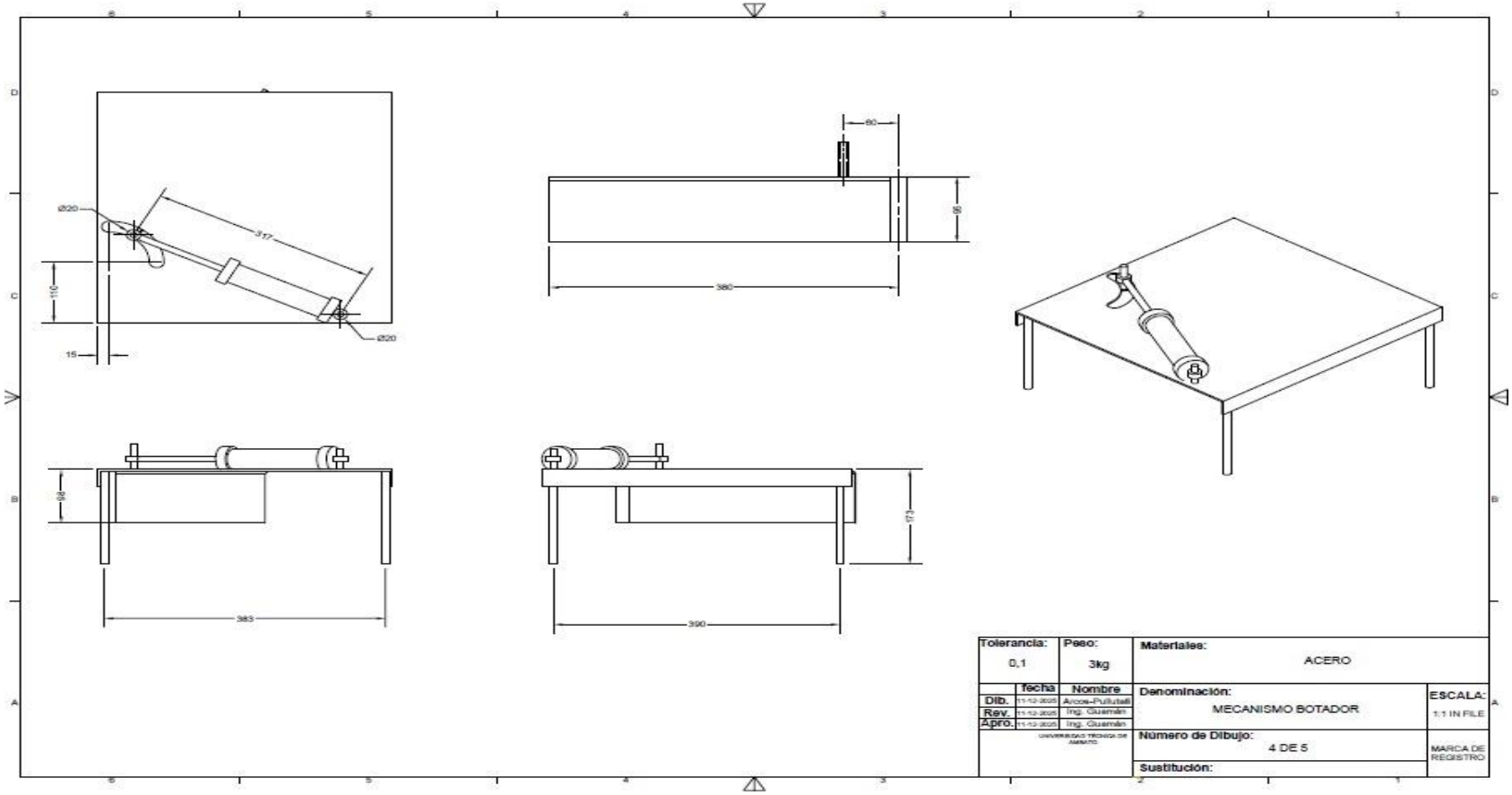
Anexo B. Diseño de la estructura o esqueleto metálico



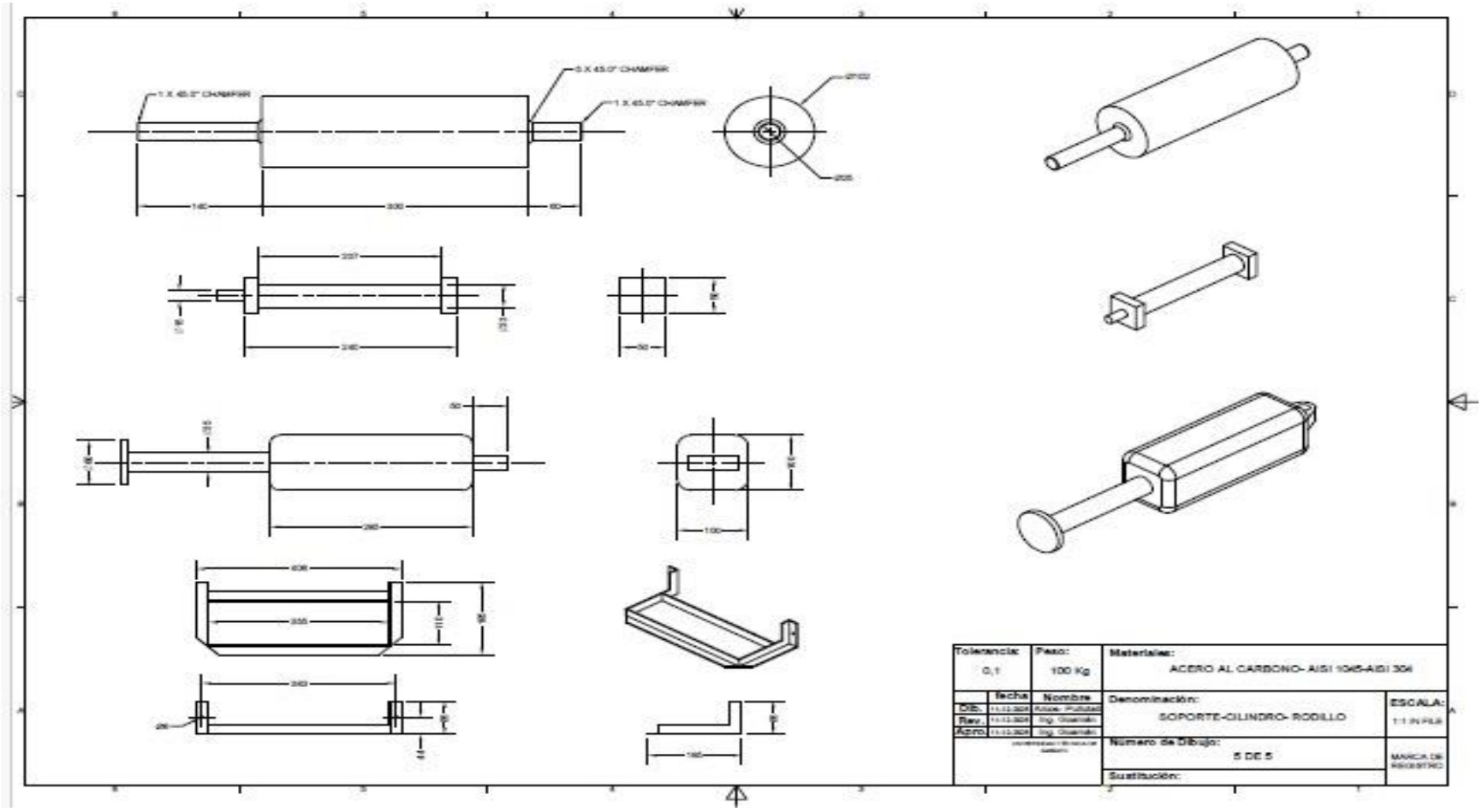
Anexo C. Diseño de cabezal y cuerpo de la tolva



Anexo D. Diseño del mecanismo clasificador



Anexo E. Cilindro y soporte de niquelinas



Anexo F. Construcción general prototipo

















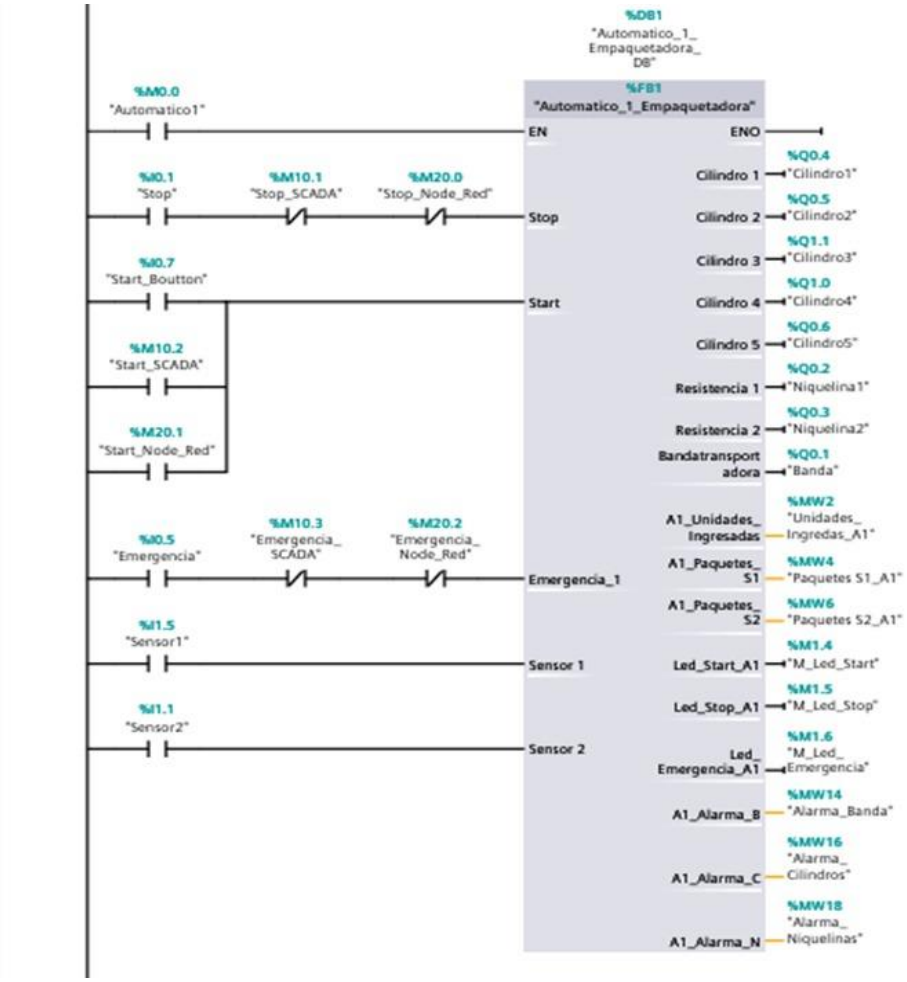




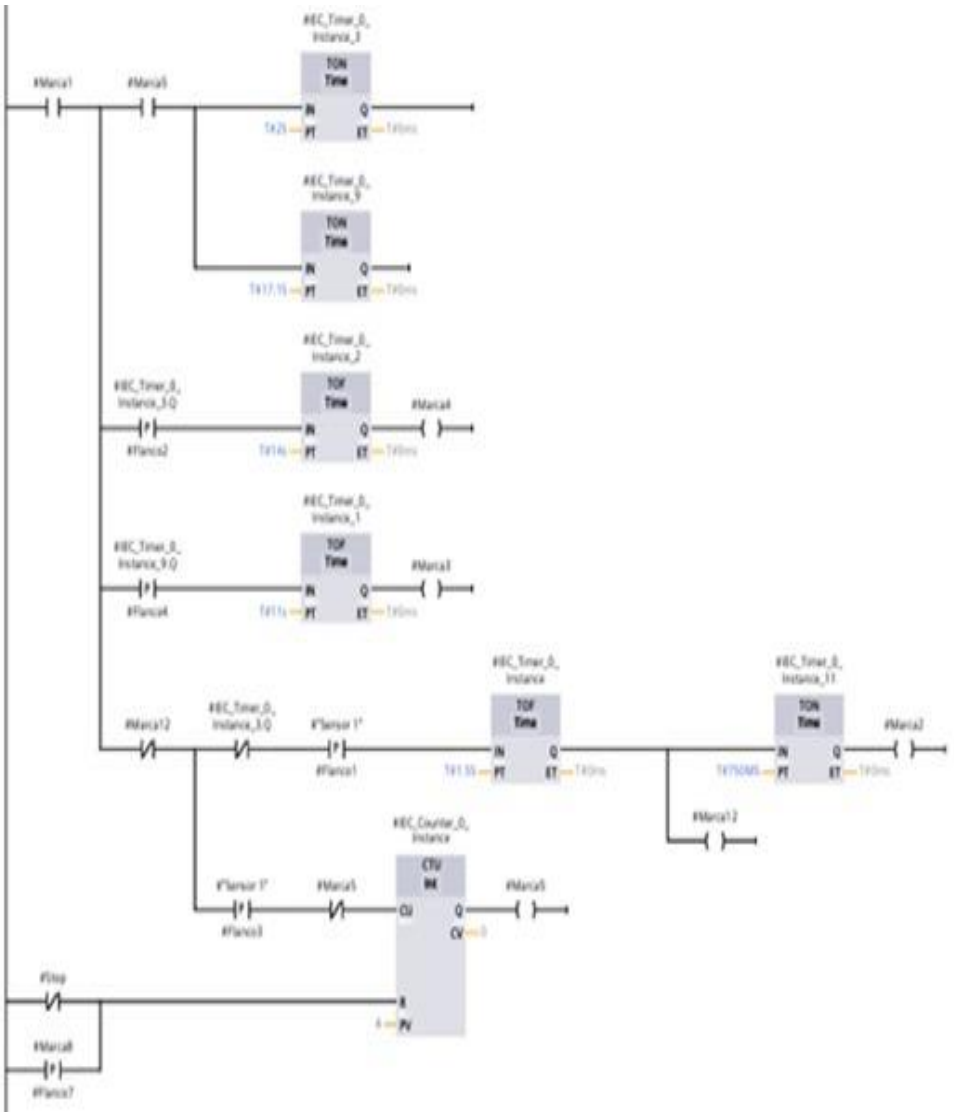


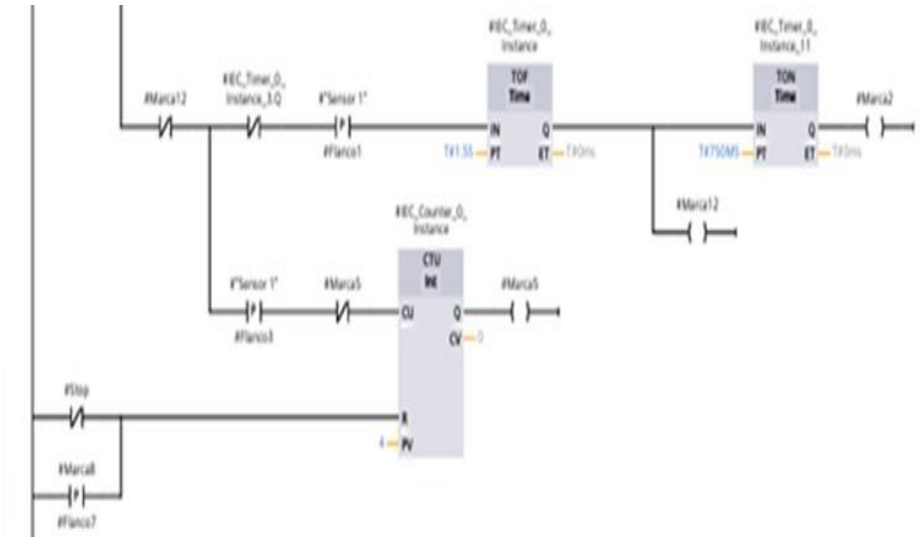


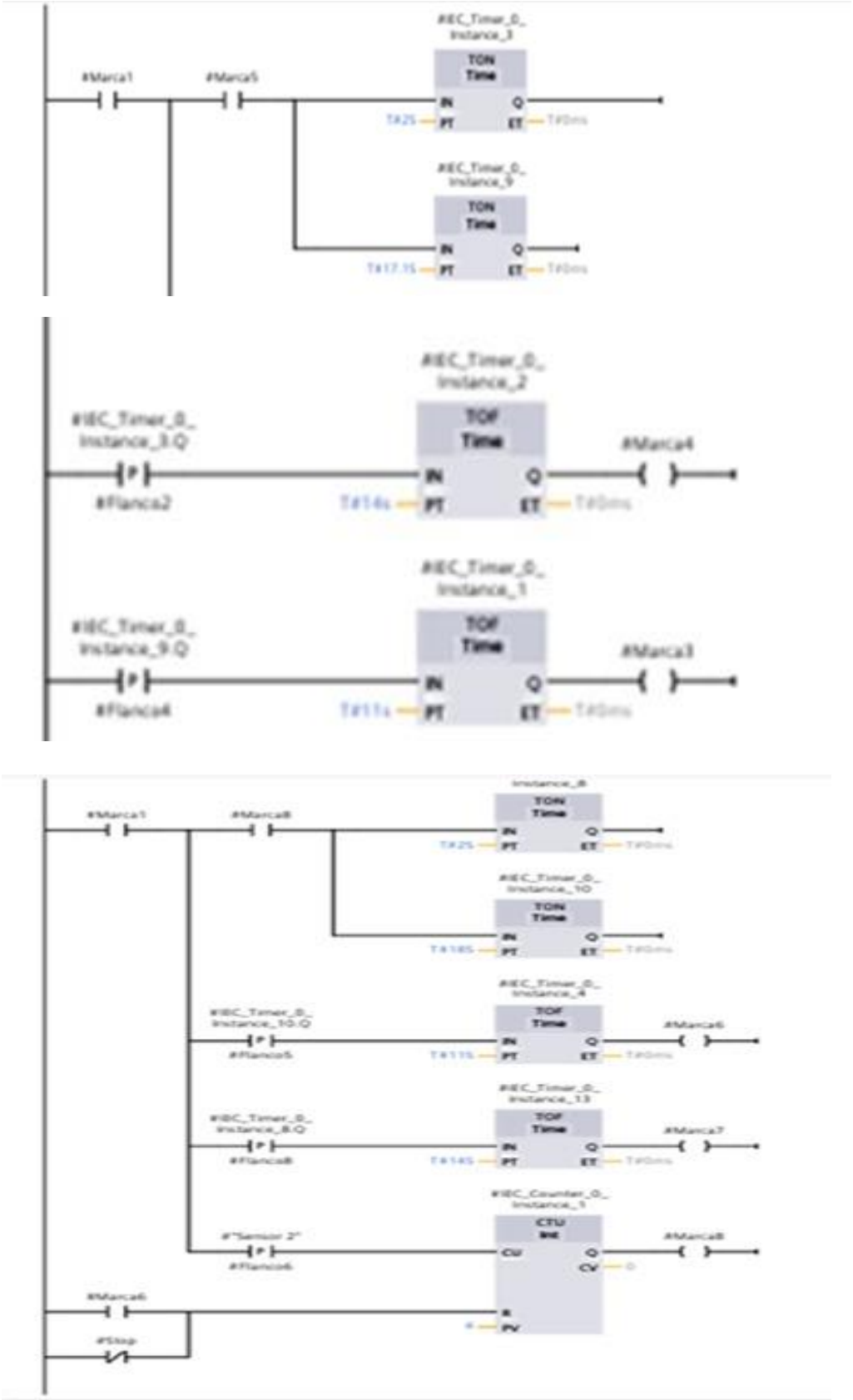
Anexo G. Programación en TIA Portal del modo automático

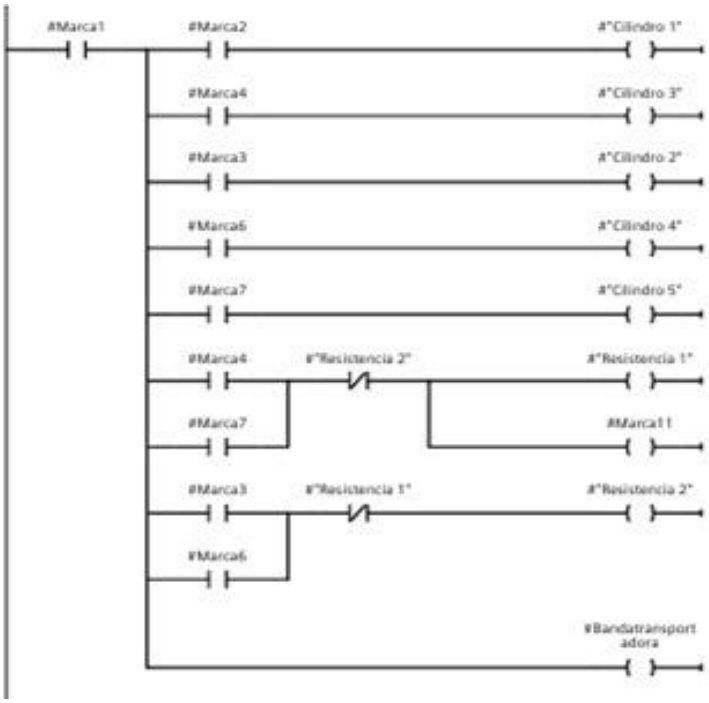




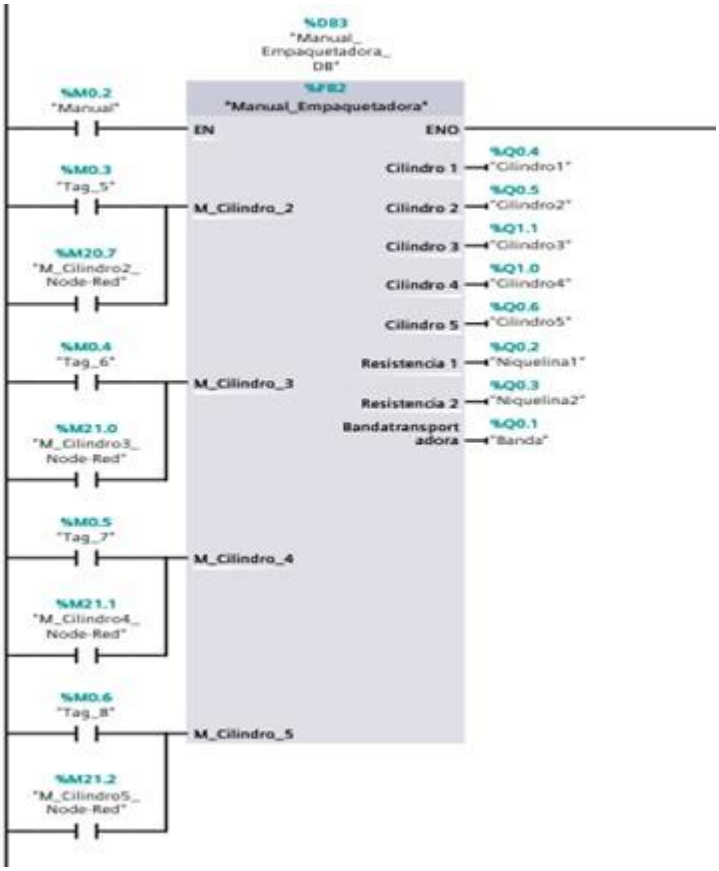

#Marca1
#Marca5
TON
Time
IN
Q
PT
ET
TOF
#Marca4
#Marca3
#Marca12
#Marca2
CTU
INT
CU
CV
#Stop
#Marca8

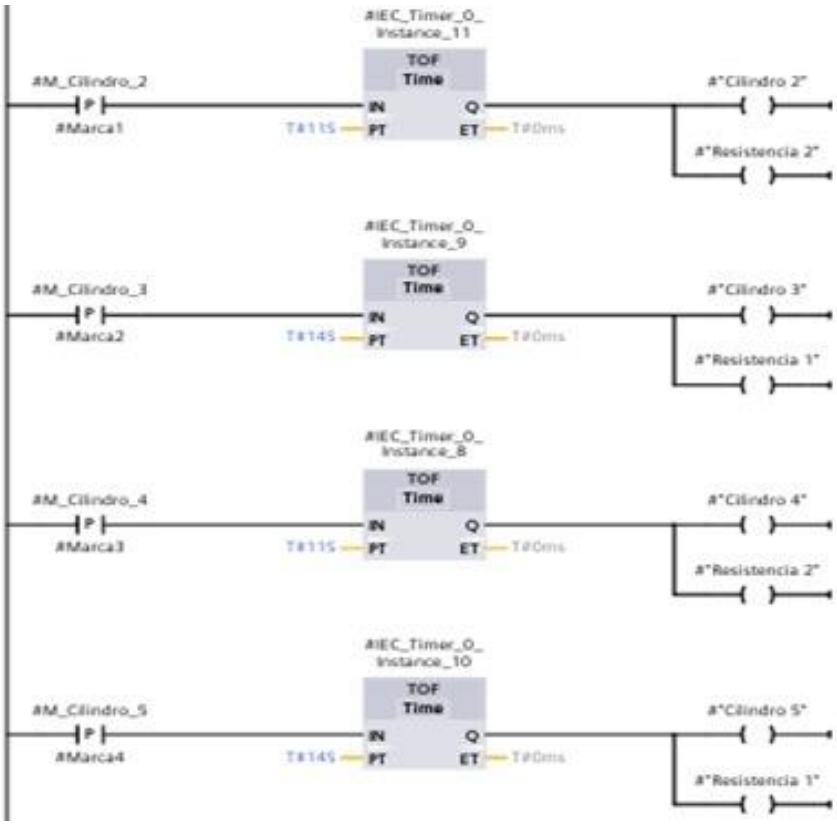

#Marca12
TON
Time
IN
Q
PT
ET
#Marca2
#Marca12
CTU
INT
CU
CV
#Marca5
#Stop
#Marca8


#Marca1
#Marca5
TON
Time
IN
PT
Q
ET
#Marca4
#Flanco2
#Marca3
#Flanco4
TOF
#Marca6
#Flanco5
#Marca7
#Flanco8
CTU
#Marca8
#Flanco6
#Marca6
#Stop



Anexo H. Programación en TIA Portal del modo manual




#IEC_Timer_0_
Instance_11
TOF
Time
#M_Cilindro_2
#Marca1
IN
PT
Q
ET
T#11S
T#0ms
#"Cilindro 2"
#"Resistencia 2"
#IEC_Timer_0_
Instance_9
TOF
Time
#M_Cilindro_3
#Marca2
IN
PT
Q
ET
T#14S
T#0ms
#"Cilindro 3"
#"Resistencia 1"
#IEC_Timer_0_
Instance_8
TOF
Time
#M_Cilindro_4
#Marca3
IN
PT
Q
ET
T#11S
T#0ms
#"Cilindro 4"
#"Resistencia 2"
#IEC_Timer_0_
Instance_10
TOF
Time
#M_Cilindro_5
#Marca4
IN
PT
Q
ET
T#14S
T#0ms
#"Cilindro 5"
#"Resistencia 1"