

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tema:

SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO PARA UN PROTOTIPO DE ENFUNDADORA DE GRANOS EN LOS TALLERES TECNOLÓGICOS DE LA FISEI-UTA

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

ÁREA: Automatización

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología de la información y sistemas de control.

AUTOR: Robinson Patricio Llamba Caiza

T UTOR: Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño, Mg.

Ambato - Ecuador

agosto – 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO PARA UN PROTOTIPO DE ENFUNDADORA DE GRANOS EN LOS TALLERES TECNOLÓGICOS DE LA FISEI-UTA, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Robinson Patricio Llamba Caiza, estudiante 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 el estudiante ha sido tutorado 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, agosto 2024.



Firmado electrónicamente por:
FRANKLIN WILFRIDO SALAZAR LOGRONO

Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO PARA UN PROTOTIPO DE ENFUNDADORA DE GRANOS EN LOS TALLERES TECNOLÓGICOS DE LA FISEI-UTA 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, agosto 2024.



Robinson Patricio Llamba Caiza

C.C. 0503539231

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo 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, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo 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, agosto 2024.



Robinson Patricio Llamba Caiza

C.C. 0503539231

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Robinson Patricio Llamba Caiza, 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 DE CONTROL Y MONITOREO PARA UN PROTOTIPO DE ENFUNDADORA DE GRANOS EN LOS TALLERES TECNOLÓGICOS DE LA FISEI-UTA, 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 la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, agosto 2024.

Firmado electrónicamente por:
ELSA PILAR URRUTIA URRUTIA

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO MAURICIO ALTAMIRANO MELENDEZ

Ing. Santiago Altamirano Meléndez, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

Firmado electrónicamente por:
JESUS ISRAEL GUAMAN MOLINA

Ing. Jesús Guamán Molina, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Santos Llamba y Elvia Caiza, por siempre estar ahí con su apoyo incondicional que me motivaron a finalizar mi carrera universitaria. Su dedicación y sacrificio son mi mayor inspiración gracias por ser mis pilares y guía durante el cumplimiento de este objetivo en mi vida.

A mis hermanas Rosa, Marlene, Mayra y Johana quienes siempre tuvieron las palabras adecuadas para animarme a seguir adelante.

A mis sobrinos Elvis, Belén, Samira, Sebastián, Said y José por ser mi motivación para no rendirme y mostrarles que en la vida existen senderos llenos de desafíos, que el aprendizaje nunca termina ya que con esfuerzo y pasión todo es posible. Que siempre sigan sus sueños con valentía y determinación.

A mis queridos amigos Alan, Eddy, Vladimir, Ítalo, Darío, Estefanía, y Kathy con quienes he compartido risas, desafíos y momentos inolvidables que han hecho de esta experiencia algo único y muy especial.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía constante y fuente de fortaleza. Gracias por brindarme sabiduría y el coraje necesario para finalizar esta etapa en mi vida.

A mi madre Elvia Caiza, gracias por su amor incondicional, apoyo constante y por siempre creer en mí. Su ejemplo de trabajo duro, perseverancia y dedicación han sido mi mayor inspiración.

A mi tutor, Ingeniero Franklin Salazar mis más sinceros agradecimientos por su guía y disponibilidad durante el desarrollo de este proyecto. Su dedicación, paciencia y compromiso han sido esenciales para mi crecimiento académico. Aprecio su confianza y motivación constante.

A todos aquellos docentes de la carrera de ingeniería Industrial con quienes tuve la oportunidad de coincidir, gracias por desafiarme, inspirarme y brindarme las herramientas necesarias para formarme como profesional.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ..... **ii**

AUTORÍA ..... **iii**

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

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

DEDICATORIA ..... **vi**

AGRADECIMIENTO ..... **vii**

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS ..... **viii**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **xiii**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xv**

ÍNDICE DE ANEXOS ..... **xxii**

RESUMEN EJECUTIVO ..... **xxiii**

ABSTRACT ..... **xxiv**

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO **1**

1.1 Tema de investigación 1

1.1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Antecedentes investigativos 3

1.3 Fundamentación teórica 8

1.3.1 Máquinas empacadoras industriales 8

1.3.2 Estructura de una máquina empacadora 12

1.3.3 Automatización industrial 20

1.3.4 Sistema SCADA 21

1.3.5 Arquitectura de los sistemas SCADA 22

1.3.6 Componentes de un SCADA 24

1.3.7 Protocolos de comunicación 26

1.3.8 Softwares para diseño de sistemas SCADA 28

1.3.9 Normativa de los sistemas SCADA 30

1.4 Objetivos 33

1.4.1 Objetivo general 33

1.4.2 Objetivos específicos 33

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 34

2.1 Materiales 34

2.2 Métodos 36

2.2.1 Modalidad de la investigación 36

2.2.2 Población y muestra 37

2.2.3 Recolección de información 37

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos 40

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42

3.1 Talleres tecnológicos 42

3.1.1 Misión 42

3.1.2 Visión 42

3.1.3 Prototipos de sistemas automatizados disponibles 42

3.2 Resultados y discusión de la información recolectada por medio de la metodología 46

3.2.1 Diseño, funcionamiento y aplicación de sistemas SCADA-HMI 47

3.2.2 Parámetros de control, monitoreo y adquisición de datos de sistemas SCADA-HMI en el sector industrial 49

3.2.3 Beneficios de implementar un sistema de control, monitoreo y adquisición de datos en el sector industrial 51

3.3 Proceso de enfundado de granos 53

3.3.1 Dosificación 53

3.3.2 Sellado vertical 54

3.3.3 Arrastre 54

3.3.4 Sellado horizontal con corte 54

3.3.5 Salida del producto 54

3.4 Diseño mecánico de la estructura de enfundado 56

3.4.1 Soporte estructural 57

3.4.2 Etapa de dosificación 57

3.4.3 Etapa de sellado vertical 59

3.4.4 Etapa de arrastre 61

3.4.5 Etapa de sellado horizontal con corte 64

3.5 Diseño eléctrico del proceso automático de enfundado 66

3.5.1 Entradas y salidas del sistema 67

3.5.2 Sistema eléctrico de entradas 69

3.5.3 Sistema eléctrico de salidas 71

3.6 Control de temperatura de sellado 74

3.7 Sistema neumático 75

3.8 Puesta en marcha del sistema de enfundado 76

3.8.1 Configuraciones del controlador 77

3.8.2 Variables del proceso de enfundado 78

3.8.3 Programación del bloque principal del sistema 80

3.8.4 Pruebas de funcionamiento del sistema mecánico, eléctrico y neumático 90

3.9 Parámetros de control y monitoreo de maquina enfundadora 97

3.9.1 Lazo de control para sellado y corte 97

3.9.2 Lazo de control de tiempo de sellado 98

3.9.3 Lazo de control de tiempo de arrastre 98

3.9.4 Lazo de control de tiempo de dosificado 99

3.9.5 Lazo de control de temperatura de sellado 99

3.10 Propuesta de implementación de sistema SCADA 100

3.10.1 Arquitectura del sistema SCADA 100

3.10.2 Selección software para diseño de sistema SCADA 101

3.10.3 Diseño interfaz SCADA en Ignition Automation 102

3.10.4 Adquisición de datos del proceso de enfundado 117

3.11 Resultados obtenidos de la implementación del sistema SCADA 122

3.11.1 Accionamiento automático y manual de salidas del sistema 122

3.11.2 Conexión con el controlador del proceso 122

3.11.3 Visibilidad del estado de entradas y salidas del sistema 123

3.11.4 Gestión de alarmas 124

3.11.5 Lectura de tiempos de ejecución de las etapas del sistema 125

3.11.6 Lectura de temperaturas de sellado 125

3.11.7 Monitoreo de salida de productos 127

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 130

4.1 Conclusiones 130

4.2 Recomendaciones 131

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 133

ANEXOS 140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de sensores en un sistema eléctrico de enfundado 16

Tabla 2. Materiales 34

Tabla 3. Preguntas de investigación 38

Tabla 4. Términos de búsqueda 38

Tabla 5. Criterios de inclusión y exclusión 39

Tabla 6. Diseño, funciones y aplicaciones de los sistemas SCADA 47

Tabla 7. Parámetros de control a considerar en el diseño de un SCADA-HMI 50

Tabla 8. Elementos de la etapa de dosificación. 58

Tabla 9. Elementos de la etapa de sellado vertical 60

Tabla 10. Elementos que forman la etapa de arrastre. 62

Tabla 11. Elementos que componen la etapa de sellado horizontal y corte 65

Tabla 12. Características del módulo relé 68

Tabla 13. Entradas y salidas del sistema de enfundado 68

Tabla 14. Características sensor inductivo OMROM E2E X5MY 2M. 69

Tabla 15. Características sensor de proximidad fotoeléctrico REFLEX E3F-R2N12. 71

Tabla 16. Características electroválvula neumática 73

Tabla 17. Características del transformador 74

Tabla 18. Características controlador PLC 76

Tabla 19. Configuración del bloque MB_CLIENT 88

Tabla 20. Prueba de funcionamiento del sistema de enfundado de granos. 91

Tabla 21. Parámetros de control y monitoreo del sistema de enfundado de granos. . 97

Tabla 22. Software para diseño e implementación del sistema SCADA. 101

Tabla 23. Elementos que componen la ventana de nivel II de modo manual 109

Tabla 24. Elementos que componen la ventana de nivel II de modo automático 110

Tabla 25. Elementos que componen la ventana de gestión de alarmas 110

Tabla 26. Elementos que componen la ventana de gestión de históricos. 111

Tabla 27.Sintaxis para identificación de etiquetas. 114

Tabla 28. Direcciones IP de los dispositivos de la red de comunicación 118

Tabla 29. Características elementos para adquisición de datos 119

Tabla 30. Código para lectura y envío de datos de temperatura vía modbus..... 121

Tabla 31. Alarmas definidas en el proceso 124

Tabla 32. Datos registrados de temperatura en las niquelinas de sellado. 126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Empacadora semiautomática 10

Figura 2. Empacadora automática de polvos COARA 10

Figura 3. Sistema de empacado vertical 11

Figura 4. Sistema de empacado horizontal. 11

Figura 5. Rodillo 12

Figura 6. Correas para transmisión de movimiento. 13

Figura 7. Polea para correa 13

Figura 8. Cojinete o rodamiento 13

Figura 9. Controlador lógico programable PLC. 14

Figura 10. Interruptor termomagnético 14

Figura 11. Contactor eléctrico 15

Figura 12. Trasformador de voltaje 15

Figura 13. Pulsador auxiliar de mando serie NP2 15

Figura 14. Luz piloto 16

Figura 15. Estructura de un relé 17

Figura 16. Electroválvula solenoide 17

Figura 17. Motor reductor de 120 VCA 17

Figura 18. Compresor de aire 18

Figura 19. Tuberías neumáticas 18

Figura 20. Unidad de mantenimiento 19

Figura 21. Válvulas – Electroválvulas 19

Figura 22. Actuadores neumáticos. 19

Figura 23. Sistema de control en lazo abierto 21

Figura 24. Sistema de control en lazo cerrado 21

Figura 25. Arquitectura básica de un sistema SCADA. 22

Figura 26. Arquitectura básica de hardware SCADA. 23

Figura 27. Arquitectura general de software 24

Figura 28. Flujo de inicio del diseñador Ignition 30

Figura 29. Directrices para diseño de botones acorde a la norma ISA 101. 31

Figura 30. Guía de colores estandarizada por la norma ANSI-ISA 101. 32

Figura 31. Pautas para presentación de valores según la ANSI-ISA 101. 32

Figura 32. Proceso para diseño de sistemas SCADA. 37

Figura 33. Selección de documentos 40

Figura 34. Prototipo embotelladora de líquidos 43

Figura 35. Prototipo de perforadora de piezas 44

Figura 36. Prototipo de moledora de granos secos. 44

Figura 37. Prototipo de lavadora de gavetas 45

Figura 38. Prototipo de brazo cartesiano. 45

Figura 39. Prototipo de dosificadora 46

Figura 40. Proceso de enfundado de granos. 53

Figura 41. Secuencia para puesta en marcha del sistema de enfundado de granos ... 55

Figura 42. Medidas soporte estructural de la maquina 57

Figura 43. Elementos de la etapa de dosificación 58

Figura 44. Elementos que forman la etapa de sellado vertical 60

Figura 45. Elementos que forman la etapa de arrastre 62

Figura 46. Sellado horizontal y corte 65

Figura 47. Tablero de control del sistema de enfundado 66

Figura 48. Diagrama eléctrico automático para enfundado de granos 67

Figura 49 . Conexión física entradas del sistema de enfundado de granos 69

Figura 50. Conexión sensor sor tipo NPN 70

Figura 51. Conexión física de salidas del sistema de enfundado de granos 72

Figura 52. Conexión eléctrica motor reductor y módulo relé 73

Figura 53. Conexión eléctrica electroválvula 5/2 y modulo relé 73

Figura 54. Tablero de control de temperatura de los selladores 74

Figura 55. Control de temperatura de sellado. 75

Figura 56. Sistema neumático de para el enfundado de granos. 76

Figura 57. Controlador lógico programable del sistema. 77

Figura 58. Direcciones Ethernet del controlador 78

Figura 59. Comunicación PUT/GET con el interlocutor. 78

Figura 60. Variables de entrada del sistema de enfundado. 79

Figura 61. Variables de salida del sistema de enfundado. 79

Figura 62. Marcas del sistema de enfundado. 80

Figura 63. Segmentos del bloque principal del sistema de enfundado 80

Figura 64. Segmento 1, activación del sistema 81

Figura 65. Condición inicial de dosificado 81

Figura 66. Segmento 2, etapa de dosificado del sistema 82

Figura 67. Bloque divisor de tiempo de dosificado 82

Figura 68. Segmento 3, etapa de arrastre. 83

Figura 69. Activación manual del arrastre 84

Figura 70. Bloque divisor de tiempo de arrastre 84

Figura 71. Segmento 4, etapa de sellado vertical 85

Figura 72. Activación manual del sellador vertical 85

Figura 73. Bloque divisor de tiempo de sellado vertical 86

Figura 74. Segmento 5, etapa de sellado horizontal con corte 86

Figura 75. Activación manual del sellador horizontal con corte 87

Figura 76. Bloque divisor de tiempo de sellado horizontal 87

Figura 77. Segmento 6, Contador de productos salientes. 88

Figura 78. Condición para detener el proceso. 88

Figura 79. Bloque de comunicación MB_CLIENT. 89

Figura 80. Segmento 8, bloques MBclient para recepción de datos 90

Figura 81. Segmento 9, visualizador de datos. 90

Figura 82. Dosificado de producto 92

Figura 83. Ingreso de film al cuello formador. 92

Figura 84. Arrastre de film plástico. 93

Figura 85. Sellador vertical 93

Figura 86. Sellador horizontal con corte. 94

Figura 87 . Niquelinas para sellado 94

Figura 88. Definición de temperatura y tiempo de sellado y corte 95

Figura 89. Sensor fotoeléctrico en la etapa de salida de productos. 95

Figura 90. Sensor inductivo en la etapa de sellado vertical 96

Figura 91. Indicadores de sistema activo. 96

Figura 92. Botones de modo manual del sistema de enfundado. 97

Figura 93. Lazo de control sellado vertical, horizontal y corte 98

Figura 94. Lazo de control tiempo de sellado de funda 98

Figura 95. Lazo de control de tiempo de arrastre de funda 99

Figura 96. Lazo de control para control de tiempo de dosificado 99

Figura 97. Lazo de control de temperatura de sellado 100

Figura 98. Arquitectura del sistema SCADA para un sistema de enfundado 101

Figura 99. Ventana login ignition del autor. 103

Figura 100. Panel principal servidor Ignition. 103

Figura 101. Puerta de enlace del servidor Ignition autor. 104

Figura 102. Módulos de ensayo instalados en el servidor ignition del autor. 104

Figura 103. Creación de proyecto del autor. 105

Figura 104. Ingreso al diseñador de Ignition del autor 106

Figura 105. Ejecución del proyecto en el diseñador del autor. 106

Figura 106. Árbol de niveles de para diseño del sistema SCADA 107

Figura 107. Distribución de ventanas de navegación del autor. 107

Figura 108. Ventana de nivel I del sistema de control para enfundado de granos... 108

Figura 109.Ventana de nivel II puesta en marcha modo manual. 109

Figura 110. Ventana de nivel II puesta en marcha modo automático. 110

Figura 111. Ventana de nivel III gestión de alarmas. 111

Figura 112. Ventana de nivel III gestión de históricos. 112

Figura 113. Carpeta de etiquetas del proyecto del autor. 112

Figura 114. Creación de una nueva etiqueta para variable del proceso. 113

Figura 115. Identificación de las etiquetas de las variables del proceso. 113

Figura 116. Etiquetas del proceso de enfundado. 114

Figura 117. Configuración de alarma..... 115

Figura 118. Configuración para historiar la temperatura en el sellador vertical..... 116

Figura 119. Historización en tiempo real de una etiqueta..... 117

Figura 120. Arquitectura para adquisición de datos de temperatura del proceso. ... 118

Figura 121. Lectura de datos de temperatura con placa arduino y driver max6675 120

Figura 122. Botones de accionamiento manual. 122

Figura 123. Estado de conexión con el controlador PLC..... 123

Figura 124. Entradas y salidas modo manual..... 123

Figura 125. Entradas y salidas modo automático..... 124

Figura 126. Alarma de nivel alto de parada de emergencia desde campo. 124

Figura 127. Control de tiempos en cada etapa del sistema 125

Figura 128.Monitoreo de las temperaturas de sellado. 126

Figura 129. Control de cantidad de productos salientes del sistema..... 127

Figura 130. Tiempo de ciclo del prototipo de máquina enfundadora 127

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de datos modulo relé 140

Anexo 2. Hoja de datos electroválvula solenoide. 141

Anexo 3. Hoja de datos sensor inductivo Omrom E2E X5Y1 2M 142

Anexo 4. Especificaciones técnicas sensor Réflex E3F-R2N12 143

Anexo 5. Diseño 3D prototipo de máquina enfundadora. 144

Anexo 6. Programación completa del sistema de enfundado. 150

Anexo 7. Prototipo físico de máquina para enfundado 151

RESUMEN EJECUTIVO

En el sector industrial, el control, monitoreo y adquisición de datos son fundamentales para la toma de decisiones y la mejora de la calidad, seguridad y eficiencia productiva. Este proyecto de investigación tiene como objetivo diseñar un sistema de control para el monitoreo de un prototipo de máquina enfundadora de granos.

Se comenzó con una investigación bibliográfica, utilizando la metodología PRISMA, para comprender las funciones, aplicabilidad y beneficios de los sistemas SCADA. Basándonos en esta investigación, se establecieron los parámetros para el control del prototipo de enfundadora de granos. Posteriormente, se diseñó los sistemas mecánicos, eléctricos y neumáticos en cada una de sus etapas, aplicando tecnologías de información y sistemas de control.

Para el control automático, se empleó un controlador PLC Siemens S7-1200 versión 1212 AC/DC/RLY, considerando las variables de entrada y salida, siendo este un proceso automático temporizado en cada una de sus etapas. El diseño del sistema de control se realizó mediante el software Ignition, una plataforma para el diseño de sistemas de control de procesos. La combinación con protocolos de comunicación como OPC UA y Modbus TCP conformó una red de comunicación entre el ordenador, el controlador PLC y la base de datos de la placa Arduino para la lectura del estado y la obtención de datos de las variables del proceso en tiempo real.

Las pruebas de funcionamiento, realizadas con diferentes temperaturas en el sellador vertical (60 a 83 °C) y en el sellador horizontal (70 a 85 °C), definieron una capacidad teórica de producción del prototipo de 270 unidades por hora, trabajando a una eficiencia del 90% ante posibles fallos y demoras en la puesta en marcha del prototipo.

Palabras clave: Sistema, control, monitoreo, Modbus, SCADA, ignition

ABSTRACT

In the industrial sector, control, monitoring and data acquisition are fundamental for decision making and improving quality, safety and productive efficiency. This research project aims to design a control system for monitoring a prototype grain casing machine.

It began with a bibliographic, research using the PRISMA, methodology to understand the functions, applicability and benefits of SCADA systems. Based on this research, the parameters for the control of the grain casing prototype were established. Subsequently, the mechanical, electrical and pneumatic systems were designed in each of their stages, applying information technologies and control systems.

For automatic control, a Siemens S7-1200 PLC controller version 1212 AC/DC/RLY was used, considering the input and output variables, this being a timed automatic process in each of its stages. The design of the control system was carried out using Ignition software, a platform for the design of process control systems. The combination with communication protocols such as OPC UA and Modbus TCP formed a communication network between the computer, the PLC controller and the Arduino board database for reading the status and obtaining data from the process variables in time real.

The performance tests, carried out with different temperatures in the vertical sealer (60 to 83 °C) and in the horizontal sealer (70 to 85 °C), defined a theoretical production capacity of the prototype of 270 units per hour, working at a 90% efficiency in the event of possible failures and delays in the launch of the prototype.

Keywords: System, control, monitoring, Modbus, SCADA, ignition

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO PARA UN PROTOTIPO DE ENFUNDADORA DE GRANOS EN LOS TALLERES TECNOLÓGICOS DE LA FISEI-UTA

1.1.1 Planteamiento del problema

Automatizar los procesos industriales, como el enfundado, es esencial para optimizar la cadena de producción. Actualmente, este proceso se realiza manualmente para pequeñas cantidades, lo que resulta en una producción lenta y de calidad cuestionable debido al uso de tecnología obsoleta e inadecuada [1].

El control de procesos mediante sistemas SCADA es proporcionado por diversas plataformas. Sin embargo, diseñar, instalar y mantener estas plataformas puede implicar un costo elevado, ya que suelen no permitir el uso de software libre. Estos sistemas deben considerarse más como una inversión a largo plazo que como una simple mejora de procesos, ya que abordan diversas problemáticas de la automatización industrial. Una de las principales ventajas de estos sistemas es su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos, tanto en hardware como en software, en el sector industrial [2].

Los sistemas SCADA se utilizan globalmente para controlar procesos industriales a distancia y proporcionar retroalimentación en tiempo real a nivel de campo, como en sensores y actuadores. El HMI informa al operador sobre todas las actividades en un proceso industrial, facilitando la comunicación entre el operador y el sistema automatizado. Esto permite analizar anomalías y modificar parámetros del proceso de control. Sin embargo, a nivel mundial, existe un déficit en las competencias del personal operativo para interpretar y tomar decisiones adecuadas sobre las acciones de control requeridas por el proceso productivo [3].

Los grandes avances tecnológicos han llevado a las empresas a ajustar sus estándares para satisfacer las necesidades de los clientes. Entre estos ajustes se encuentra la automatización de procesos industriales, que se basa en la aplicación de maquinaria y equipos técnicos capaces de realizar de forma autónoma diversos procesos de producción, selección y control, minimizando así la intervención manual por parte de los operarios [4].

La automatización industrial, como herramienta global, se está introduciendo en las industrias ecuatorianas con el fin de reducir los tiempos de producción, aumentar la productividad, mejorar la calidad y la confiabilidad, disminuir los desperdicios, optimizar los recursos, reducir costos y minimizar los accidentes. En un entorno competitivo, es esencial automatizar procesos y maquinarias, y monitorearlos para una toma de decisiones eficaz [5].

El alto índice de inversión inicial requerido por las empresas nacionales para automatizar procesos se ha convertido en una de las principales causas que impiden que los procesos de manufactura sean completamente automáticos en control y monitoreo. Además, la resistencia al cambio por parte de directivos y operarios ha dificultado la inclusión total de la automatización en las líneas de producción [6][7].

En Ecuador, es muy común que la falta de formación y capacitación del personal encargado del manejo de los sistemas SCADA-HMI genere una subutilización del sistema y dificultades en el registro de datos, lo que impide una adecuada toma de decisiones por parte de los directivos de la organización [8]. Esto se debe a la falta de capacitación para comprender completamente el funcionamiento del sistema, así como las herramientas de interpretación de datos de los distintos sistemas automatizados [9].

En la zona tres del Ecuador, que incluye las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, se ha incrementado la automatización industrial en diversos procesos. Sin embargo, el uso de sistemas de adquisición de datos, control y monitoreo sigue siendo bajo, ya que la mayoría de las empresas prefieren delegar las inspecciones técnicas a los operarios para controlar los parámetros de funcionamiento de los equipos y maquinarias en la línea de producción [10].

Para abordar esta problemática, se ha diseñado un sistema de control y monitoreo en un prototipo de enfundadora de granos en los Talleres Tecnológicos de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. El sistema control monitorea las variables del proceso por medio de un software de diseño de sistemas SCADA, el cual facilita el diseño y la comunicación con los dispositivos empleados en el sector industrial para el control de las líneas de producción.

1.2 Antecedentes investigativos

A continuación, se presenta las investigaciones relevantes en relación al diseño de sistemas para el control y monitoreo de máquinas dentro del sector industrial.

En el artículo científico “Estándares HMI-SCADA para el diseño de interfaces en los centros de datos: el centro de control y operaciones como caso de estudio,” publicado por la revista DYNA, se destaca que estos sistemas permiten supervisar y controlar los procesos industriales a distancia, proporcionando retroalimentación en tiempo real mediante sensores y actuadores. El HMI informa al operador sobre todas las actividades en un proceso industrial, facilitando una comunicación efectiva entre el operador y el sistema automatizado. Esta comunicación permite analizar anomalías y modificar los parámetros del proceso de control.

El artículo también enfatiza la importancia de la supervisión desde un punto de vista normativo y operativo, ya que es crucial para garantizar calidad y eficiencia en los procesos. Por lo tanto, el sistema HMI debe incluir componentes gráficos y numéricos con terminología estandarizada y clara para el usuario final. Además, debe permitir un registro histórico de las variaciones de las variables para estudiar su comportamiento y realizar predicciones [3].

En el artículo científico "Implementación de PLC-HMI para el control y monitoreo en la automatización de una máquina emplayadora en la industria refresquera para empaquetado de tetra briks," publicado por la revista Investigium, se aborda la automatización del proceso de empaquetado de envases tetra brik de 500 ml en una

empresa mexicana mediante un PLC. Este recibe datos de sensores e instrumentos de medición para controlar actuadores y realizar el proceso de emplayado.

El artículo enfatiza la importancia de automatizar procesos industriales y controlarlos a través de sistemas HMI. Como resultado de este proyecto, se logra el control eficiente y la automatización efectiva de una máquina empacadora de 3 y 6 envases tetra brik de 500 ml. Se emplean controles PID para ajustar parámetros críticos como la temperatura de sellado de los empaques. Todo esto se realiza mediante el cableado de entradas y salidas digitales del PLC, gestionadas por memorias para el control y monitoreo remoto desde dispositivos como laptops o pantallas KTP [11].

En el artículo científico “Diseño del protocolo y nuevo enfoque para la mejora de la seguridad SCADA durante el sistema de transmisión de sensores,” publicado por la revista Springer Science, se menciona que estos sistemas se conectan de manera remota con varios dispositivos de campo a través del controlador principal. Este controlador se integra con el HMI, diseñado con alta resolución, para visualizar la comunicación general, operar y realizar la adquisición de datos.

El artículo destaca que el HMI es crucial para que los usuarios finales u operadores administren y controlen los dispositivos de campo desde el centro de control. Normalmente, la adquisición de datos y la información de control se presentan de manera gráfica, lo que facilita al operador del SCADA visualizar el proceso mediante representaciones visuales y simulaciones. Un ejemplo es un sistema de bombeo de agua, en el cual las entradas y salidas deben ser monitoreadas y controladas para asegurar un funcionamiento eficiente [12].

En el artículo científico "Desarrollo de modelo SCADA para estación compresora de gasoducto troncal," publicado por la revista del Instituto de Minería, se subraya que los niveles de sistemas de control automatizado para procesos tecnológicos requieren un software específico que cumpla con las tareas funcionales necesarias. Este software incluye herramientas que comunican dispositivos técnicos y organizan el HMI como una aplicación para las actividades de comunicación asignadas a los responsables de la toma de decisiones de gestión: operadores, despachadores y gerentes.

El artículo se centra en el desarrollo del componente SCADA para el taller de compresores del gasoducto troncal, enfocándose en el monitoreo de parámetros que permiten seguir las características del proceso de transporte de gas seleccionado por el operador. Con el objetivo de desarrollar métodos aplicados para modelar y controlar varios procesos en la industria del gas mediante la operación SCADA, se destaca que este componente es universal y puede utilizarse para objetos con parámetros similares. Sin embargo, el uso de este componente presenta limitaciones asociadas con los factores de corrección obtenidos en la síntesis de la función de transferencia [9].

En el trabajo de titulación "Implementación de un sistema SCADA mediante el software Intouch para el control y visualización de procesos industriales," realizado en la Universidad Técnica del Norte, se desarrolló un sistema SCADA para tres módulos existentes en el laboratorio de control y automatización. El objetivo del proyecto era permitir a los estudiantes realizar prácticas demostrativas sobre el control, automatización y visualización de procesos industriales en tiempo real.

Utilizando el software Intouch, se creó una interfaz HMI que facilita la visualización del comportamiento de los procesos industriales en tiempo real. Además, se elaboró un manual de prácticas de laboratorio para guiar a los estudiantes en el aprendizaje y familiarización con este tipo de aplicaciones en un entorno teórico-práctico.

Como resultado de la investigación, mediante pruebas exhaustivas en sensores, actuadores, cableado, comunicación de red entre PLCs, y configuración de hardware y software para los módulos de control de nivel, caudal y presión de líquidos, se logró un modelo de sistema SCADA óptimo que cumplió con los objetivos establecidos para el proyecto [2].

En el trabajo de titulación "Diseño e implementación de un sistema SCADA para el proceso de llenado de agua en botellas con proyección a la Industria 4.0 empleando Simatic IoT 2040," desarrollado en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, se diseñó e implementó un sistema SCADA para automatizar el proceso de llenado de agua utilizando equipos industriales. El objetivo principal fue mejorar el rendimiento de producción mediante el control, supervisión y adquisición de datos de un prototipo de llenado de botellas de un litro [13].

Los sistemas SCADA han ido evolucionando para adaptarse a la Industria 4.0, facilitando la visualización de datos a través de plataformas web. Esta digitalización de procesos de producción mediante tecnologías de información, conectividad a través de IoT, el uso de big data, el cloud computing, la ciberseguridad, la robótica y la inteligencia artificial son fundamentales [13].

En el trabajo de investigación "Sistema SCADA para el pesaje de residuos en el proceso de maquinado de aluminio para la industria del municipio de Yumbo, Valle del Cauca," realizado en la Universidad Autónoma del Occidente en Colombia, se desarrolló un prototipo para adquirir, procesar y almacenar información sobre el pesaje de residuos de aluminio generados durante el proceso de maquinado. El objetivo era eliminar inconsistencias y pérdidas de información mediante la digitalización de procesos industriales, un factor crucial que afecta a empresas de diferentes tamaños y sectores de producción [14].

La información obtenida de los procesos de producción se ha convertido en un recurso esencial para la toma de decisiones operativas y estratégicas. Además, facilita la detección oportuna de fallos en los procesos. Por lo tanto, es vital que las industrias implementen sistemas de automatización que permitan el monitoreo, actualización, almacenamiento y análisis en tiempo real de la información, asegurando su veracidad y contribuyendo así a la eficiencia y competitividad del sector manufacturero [14].

En el artículo científico "Diseño de HMI de máquina industrial automatizada utilizando el sistema Simatic SCADA," publicado por la revista Internacional de Ingeniería Industrial, enfatiza que la automatización es crucial para aumentar la productividad al reducir errores y ahorrar tiempo. Además, subraya la importancia del monitoreo regular de procesos para mejorar el rendimiento del sistema y garantizar la seguridad de los empleados.

La investigación propone un método para desarrollar una máquina automática de pesaje y embolsado, con un enfoque especial en el sistema de pesaje. Se diseñó un prototipo simulado utilizando SCADA y PLC para máquinas pesadoras y empacadoras, las cuales llenan y cierran bolsas con productos. Este diseño permite a los operadores monitorear el proceso y controlar las salidas a través de una pantalla

HMI. Además, se plantea la integración futura con IoT para recibir alertas, tendencias, alarmas y notificaciones sobre el rendimiento del sistema en pantallas móviles [16].

En el trabajo de investigación "Adaptación de la tecnología estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales (OPC), en un prototipo de sistema SCADA basado en la plataforma Ignition y controladores lógicos programables," desarrollado en la Universidad Católica de Cuenca, se destaca la comunicación OPC como un medio integrador de tecnologías de diferentes fabricantes, mejorando así la gestión en el control y monitoreo de procesos industriales [17].

El estudio utiliza tanto versiones del OPC clásico como del OPC UA proporcionadas por la OPC Foundation. Estas tecnologías se implementan para controlar y monitorear un invernadero a escala desde una red local, empleando técnicas básicas de control para regular parámetros como la temperatura, humedad y cantidad de agua. Se utilizan tecnologías como PLC, Arduino y Raspberry Pi, todas integradas a través de la interfaz de diseño de sistemas SCADA Ignition [17].

En el artículo científico "Modelo para desarrollo de sistemas tipo SCADA en entornos productivos," desarrollado por la Universidad de Sonora, se enfatiza que los sistemas industriales deben manejar grandes volúmenes de datos en cortos periodos de tiempo. Estos sistemas se utilizan en áreas de producción para el control y monitoreo en tiempo real de maquinaria, mostrando la información en pantallas ubicadas a distancia. El propósito es obtener datos históricos que faciliten la toma de decisiones mediante reportes específicos [18].

La investigación resultó en la creación de dos sistemas SCADA: uno para el proceso de trituración y pulverización del vidrio, y otro para el proceso de lavado y pulimiento del vidrio cribado. La efectividad en la presentación de la información funcional y procesal fue percibida y valorada positivamente tanto por directivos como por operarios. El éxito se reflejó en el control y automatización efectiva de la maquinaria en tiempo real, mejorando la eficiencia y precisión en los procesos industriales [18].

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Máquinas empacadoras industriales

Proteger los alimentos mediante empaques herméticos es crucial en el mercado industrial para garantizar la inocuidad de los productos en tiendas y supermercados. Para lograr esto, se utilizan mecanismos automatizados de empaque y sellado de bolsas plásticas que contienen granos, cereales, vegetales, líquidos y otros productos. Este proceso se realiza en varias etapas en la línea de producción: primero se recibe un rollo de film plástico, el cual pasa por un cuello formador que le da la forma tubular. Posteriormente, la bolsa se llena de un producto por medio de sistemas de dosificado, se sella y se corta del rollo, repitiendo este ciclo de forma continua [19].

El mercado comercial de máquinas empacadoras es muy amplio con equipos para todo tipo de producto, así también, otras necesidades como la capacidad técnica, costo, fiabilidad, espacio requerido, necesidad del personal, consumo de energía, productividad, ergonomía influyen en la selección de un sistema de empacado.

A continuación, se detallan algunas de estas máquinas empacadoras, selladoras de productos disponibles en el mercado:

a. Máquinas selladoras

Las máquinas manuales o selladoras se diseñan en función del tipo de material a sellar dentro del proceso de empaque. También se tienen en cuenta la naturaleza del producto, los parámetros de marketing y el sistema de distribución utilizado. A continuación, se detallan los tipos de sellado más comunes:

- ***Sellado por ultrasonido.*** Las ondas de ultrasonido se utilizan para sellar empaques plásticos mediante un sonotrodo, una herramienta de soldadura ultrasónica que opera en frecuencias que van desde 16 kHz hasta 1 GHz. Esta herramienta genera resonancia y transmite vibraciones mecánicas al empaque plástico. Al aplicar estas vibraciones junto con una presión adecuada, se logra sellar la superficie plástica de manera efectiva [20].

- ***Sellado de alta frecuencia.*** El proceso de sellado por ultrasonido utiliza la banda del espectro electromagnético que varía en frecuencia de 3 a 30 MHz. Entre los materiales plásticos más usados en este tipo de sellado se encuentran el vinilo, el tereftalato de polietileno (PET) y el policloruro de vinilo (PVC). Este método une hojas del mismo material plástico aplicando vibración de onda corta y presión adecuada. Al aplicar esta presión junto con la vibración, las superficies plásticas se calientan y se forma la unión sin necesidad de fundirlas [20].

- ***Sellado por inducción.*** Utiliza una bobina conductora que genera un campo magnético, se inducen corrientes de Foucault sobre el metal, basadas en los principios de la inducción electromagnética. Este proceso calienta el metal, transfiriendo calor al polímero para fundirlo. Al aplicar presión simultáneamente, se logra la unión del material plástico, formando así el sellado. Los materiales plásticos utilizados en este proceso incluyen el polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS) y tereftalato de polietileno (PET) [20].
- ***Sellado por herramientas calientes.*** Este sellado, llamado de temperatura constante o de mordaza caliente, es ampliamente usado debido a su bajo costo y versatilidad para obtener un sellado efectivo. En este proceso, se transfiere calor mediante una resistencia eléctrica o una barra metálica de sellado. Al aplicar la presión necesaria durante un tiempo determinado, se logra la unión de las dos láminas plásticas [20].

- ***Sellado por impulso.*** El proceso implica un calentamiento y enfriamiento inmediato bajo presión. Al detectar la presencia de plástico en la zona de sellado, las mordazas se cierran y la corriente eléctrica comienza a fluir. Con la presencia de elementos que se calientan, el plástico se funde y se une con la presión aplicada. Una vez que se detiene el flujo de corriente, comienza el enfriamiento. Es crucial controlar prioritariamente la temperatura y el tiempo de enfriamiento para asegurar un sellado óptimo y consistente [20].

b. Máquinas empacadoras semiautomáticas

Las empacadoras de tipo semiautomático se usa ampliamente en entornos industriales, aunque requieren la supervisión de un operario durante actividades específicas del proceso. En muchas industrias, es común encontrar máquinas semiautomáticas que son responsables de formar las bolsas, esto ayuda agilizar el proceso de enfundado [21]. En la Figura 1, se presenta una ilustración de una empacadora semiautomática.



Figura 1. Empacadora semiautomática

c. Máquinas empacadoras automáticas

Las máquinas empacadoras automáticas están formadas por sistemas mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos, controlados por sistemas avanzados como PLC o microcontroladores. Se usan en las industrias con alto volumen de producción y altos estándares de calidad , ya que no requieren la intervención directa de operadores durante el proceso. La supervisión visual es suficiente para garantizar que todo siga el orden establecido mediante sistemas SCADA, en la Figura 2, se presenta una ilustración de una empacadora automática [21].



Figura 2. Empacadora automática de polvos COARA

- ***Empacadora vertical.*** Denominada así por el recorrido que sigue el film usado en el empaque y la dosificación de diversos tipos de productos. Este proceso, inicia con el film guiado por el exterior de un tubo formador, mientras que por el interior se introduce el producto dosificado. El envase ingresa luego a una mordaza selladora, la cual, una vez cerrada, genera de inmediato el sellado inferior del próximo envase a dosificar [1]. Una cuchilla alojada en la mordaza selladora se encarga de separar los envases entre sí, como se puede apreciar en la Figura 3.

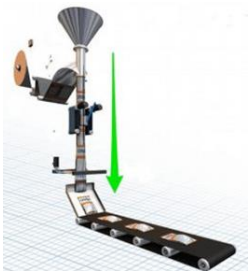


Figura 3. Sistema de empacado vertical

- ***Empacadora horizontal.*** Denominada así por la línea de empaque que sigue el producto, esta máquina utiliza un film distribuido de forma horizontal sobre las mordazas de sellado. Una vez formados los envases, son divididos mediante cuchillas de corte y abiertos por ventosas de vacío que dosifican el producto deseado. Este tipo de máquinas permite la dosificación de una amplia variedad de productos, tanto líquidos como sólidos, y ofrece la facilidad de incorporar válvulas dispensadoras y etiquetadoras informativas del producto [1]. En la Figura 4, se puede apreciar una línea de empaque horizontal.

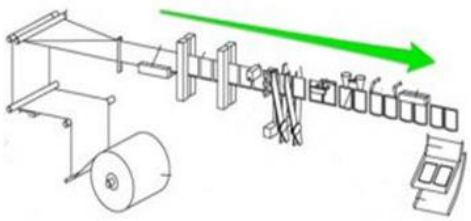


Figura 4. Sistema de empacado horizontal.

1.3.2 Estructura de una máquina empacadora

La utilización de máquinas industriales en procesos de empaquetado o enfundado está estrechamente ligada al aprovechamiento de los avances tecnológicos. Estas máquinas pueden variar según el tipo de producto y las funciones específicas que deben cumplir, aunque en términos de componentes, las diferencias no suelen ser significativas [22]. A continuación, se detallan los sistemas más comunes que forman las máquinas empacadoras y selladoras de productos disponibles en el mercado:

a. Sistema mecánico

Un sistema mecánico está constituido por un conjunto de órganos o elementos que, unidos, cumplen la función principal de transmitir diferentes tipos de energía a través del movimiento [23]. Estos sistemas agrupados de manera parcial, forman los mecanismos, y cuando se combinan, constituyen una máquina que, al ser sometida a fuerzas específicas, genera trabajo útil mediante transformaciones intermedias de fuerzas, energías, trayectorias y/o velocidades [22].

Dentro de los componentes mecánicos empleados en una máquina de enfundado se puede mencionar:

- ***Rodillo.*** Es un elemento cilíndrico o de tipo tubo, cuya longitud es mayor respecto a su diámetro, la cual al mantenerse fijo permite el desplazamiento de objetos sobre ellas [24]. En la Figura 5, se presenta una ilustración del rodillo.



Figura 5. Rodillo

- ***Correas.*** Elemento usado para transmitir movimiento entre dos poleas o ruedas que giran en ejes [25]. La transmisión de fuerza y movimiento emplea el

rozamiento entre polea y correa, las de mayor uso son de tipo trapezoidal y las correas dentadas [23]. En la Figura 6, se presenta una ilustración de las correas.



Figura 6. Correas para transmisión de movimiento.

- ***Poleas.*** Son elementos usados junto con correas o cuerdas, permiten el movimiento entre ejes, ya sean paralelos o no [23]. Se podría describir como ruedas con una cavidad perimetral diseñada para alojar la cuerda o correa. En la Figura 7, se presenta la ilustración de una polea.



Figura 7. Polea para correa

- ***Cojinetes o rodamientos.*** Son elementos que se emplean como un punto de apoyo a árboles o ejes, sirve de unión entre estos y el elemento soporte, logrando un movimiento rotacional, sin fricciones, pérdidas de energía y desgaste mecánico, así también evita el deslizamiento [23]. En la Figura 8, se presenta la ilustración de un cojinete.



Figura 8. Cojinete o rodamiento

b. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico está formado por elementos que permite o no el funcionamiento de un actuador eléctrico restringiendo el paso de corriente eléctrica. Entre los elementos más comunes se puede encontrar:

- ***Controlador lógico programable.*** Es una máquina industrial susceptible a ser programada basado en un sistema de microprocesador con hardware estándar independiente del proceso a controlar. El controlador es quien gobierna las señales de salida en función del programa de control previamente almacenado en la memoria en función del estado de las señales de entrada [26]. En la Figura 9, se presenta la ilustración de un PLC.



Figura 9. Controlador lógico programable PLC.

- ***Interruptores termomagnéticos.*** También llamados breakers, son dispositivos que permite la maniobra y protección, puede interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando los valores de intensidad son superiores a la nominal [27]. En la Figura 10, se presenta la ilustración de un interruptor termomagnético.



Figura 10. Interruptor termomagnético

- ***Contactores.*** Son dispositivos electromagnéticos, que puede ser controlado a distancia para cerrar o abrir circuitos de potencia. Una de las principales aplicaciones es el control de los circuitos de alimentación de todo tipo de

motores eléctricos, pero se utiliza para alimentar otros tipos de receptores, como sistemas de resistencias y líneas de luminarias [27]. En la Figura 11, se presenta la ilustración de un contactor eléctrico.



Figura 11. Contactor eléctrico

- ***Transformador.*** Elemento usado dentro de la distribución y el aprovechamiento de la corriente eléctrica, esto permite el aumento y la reducción de la tensión de una corriente alterna sin cambiar su potencia [27]. En la Figura 12, se presenta la ilustración de un transformador de voltaje.



Figura 12. Trasformador de voltaje

- ***Pulsadores.*** Son de accionamiento manual que abren o cierran circuitos cuando se ejerce presión sobre él. Sus contactos vuelven a la posición de reposo, mediante un resorte, cuando cesa la acción. [27]. En la Figura 13, se presenta la ilustración de un pulsador.



Figura 13. Pulsador auxiliar de mando serie NP2

- ***Luces piloto.*** Se utilizan para emitir señales de funcionamiento del automatismo y que el operario debe atender al realizar acciones sobre él. Los estados que suelen señalizar son: puesta en marcha de máquinas, alarmas, disparo de relés y dispositivos de protección [27]. En la Figura 14, se presenta la ilustración de una luz piloto.



Figura 14. Luz piloto

- ***Sensores.*** Son dispositivos con la capacidad para detectar magnitudes físicas o químicas, conocidas como variables de instrumentación y transformarlas a señales o variable eléctricas, estas variables de instrumentación pueden ser: temperatura, intensidad, distancia, aceleración, inclinación, fuerza, presión [28].

Los sensores más comunes empleados para captar señales dentro de un sistema de enfundado se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipos de sensores en un sistema eléctrico de enfundado

Tipo de sensor	**Descripción**
Sensor capacitivo	Reacciona ante metales y no metales que al aproximarse a la superficie activa, sobrepasa una determinada capacidad. Estos sensores son usados para identificación de objetos, con función contadora y para controles de nivel de carga de materiales sólidos y líquidos [27].
Sensor inductivo	El sensor inductivo es un instrumento que permite la detección de materiales metálicos ferrosos, son empleados dentro del sector industrial para el posicionamiento, detección de paso, atasco, presencia o ausencia de objetos metálicos en un determinado contexto. También usados en codificación y conteo [27].
Sensor fotoeléctrico	Un sensor fotoeléctrico permite la detección de objetos por barrera fotoeléctrica, ampliamente usada en el conteo de cajas de cartón, metal, botellas de plástico. En el caso de estudio se emplea para el conteo de productos empacados a la salida de la máquina de enfundado [27].
Sensor de termopar	Mide la temperatura, y su funcionamiento se basa en el efecto seebeck, el cual describe la generación de una tensión eléctrica cuando dos metales diferentes están unidos a un punto y se somete a una diferencia de temperatura en sus extremos [26].

- ***Relé.*** Es un dispositivo que hace la función de un interruptor eléctrico permite el paso o no de la corriente eléctrica, cuenta con una bobina la cual genera un

campo magnético que hace que el contacto del relé que esta normalmente abierto se cierre o permita el paso de corriente [26]. En la Figura 15, se presenta la ilustración de la estructura interna de un relé

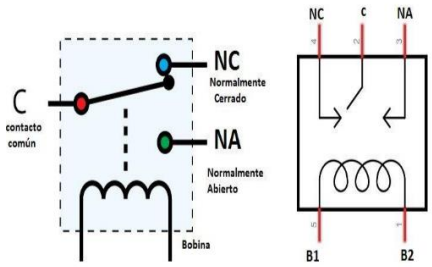


Figura 15. Estructura de un relé

- ***Electroválvulas.*** Dispositivos que responden a pulsos eléctricos, por medio de la corriente que circula por un solenoide es posible abrir o cerrar la válvula del flujo de fluidos o aire [29]. En la Figura 16, se presenta la ilustración de una electroválvula.



Figura 16. Electroválvula solenoide

- ***Motores.*** Es un receptor que al ser alimentado mediante una corriente eléctrica, produce un movimiento giratorio en su eje, a través de los acoplamientos mecánicos adecuados, es aprovechado para efectuar diferentes trabajos en el sector industrial y doméstico [27]. En la Figura 17, se presenta la ilustración de un motor reductor.

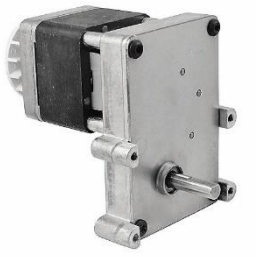


Figura 17. Motor reductor de 120 VCA

c. Sistema neumático

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como elemento de transmisión de energía para poner en movimiento mecanismos o accionamientos para cumplir tareas de un proceso industrial.

Un circuito neumático básico cuenta con elementos que se detalla a continuación:

- ***Fuente de aire.*** Elemento encargado de tomar el aire ambiental y comprimirlo con la finalidad de provocar una reducción del volumen, es decir transforma la energía mecánica de un motor eléctrico en energía interna en forma de presión la cual será liberada con reducción de la presión [29]. En la Figura 18, se presenta la ilustración de un compresor de aire.



Figura 18. Compresor de aire

- ***Tuberías.*** Elementos indispensables dentro de los sistemas neumáticos, deben ser construidos con materiales resistentes como el acero y el latón a nivel industrial, en prototipos de máquinas también se puede emplear materiales más económicos como el plástico o e l caucho [29]. En la Figura 19, se presenta la ilustración de tuberías neumáticas.



Figura 19. Tuberías neumáticas

- ***Sistema de tratamiento de aire.*** Un sistema de mantenimiento tiene la función de asegurar la calidad del aire, que este sea limpio y evite posibles fallos dentro del sistema, este dispositivo cumple las funciones de regulación de presión,

filtro y lubricación del aire [29]. En la Figura 20, se presenta la ilustración de una unidad de mantenimiento neumática.



Figura 20. Unidad de mantenimiento

- ***Válvulas.*** Las válvulas cumplen la función de permitir, impedir o desviar el paso de aire en los sistemas neumáticos. Existe una gran variedad en el mercado entre las más comunes están: bobinas magnéticas, válvulas de cierre, válvulas reguladoras de presión, electroválvulas o válvulas de antena [29]. En la Figura 21, se presenta la ilustración de válvulas disponibles en el mercado.



Figura 21. Válvulas – Electroválvulas

- ***Actuadores.*** Son dispositivos que convierten la energía neumática en energía mecánica, y puede ser de dos tipos cilindros neumáticos para movimientos de tipo lineal (simple efecto únicamente de avance y de doble efecto con avance y retroceso) o motor neumático para movimiento del tipo rotativo [28]. En la Figura 22, se presenta la ilustración de los actuadores neumáticos.



Figura 22. Actuadores neumáticos.

1.3.3 Automatización industrial

La automatización industrial de los procesos tiene la finalidad de integrar aplicaciones para eliminar procedimientos manuales, mejorar el tiempo de ejecución de las tareas realizadas por los operadores, y eliminar los posibles errores que se puede cometer, incrementando de esta manera los niveles de productividad [30] [31].

a. Pirámide de la automatización

Hace referencia a un esquema que permite la visualización e integración de los distintos niveles de tecnología dentro de una industria.

- ***Nivel 1.*** También conocido como el nivel de campo, es donde se encuentra los dispositivos físicos sensores y actuadores, encargados de recopilar los datos del proceso productivo y controlar los procesos en tiempo real [32].

- ***Nivel 2.*** Es el nivel de control donde los dispositivos controladores como PLCs, PIDs, se encargan de controlar y supervisar cada uno de los procesos del nivel de campo recogiendo los datos de los sensores para tomar decisiones sobre el proceso [32].

- ***Nivel 3.*** Es el nivel de supervisión, aquí se encuentra los sistemas SCADA, por medio de interfaces gráficas se monitoriza el estado del proceso, recibe alarmas y se toma decisiones dentro de una instalación o proceso industrial [32].

- ***Nivel 4.*** Es el nivel de planificación, aquí se encuentra los sistemas de ejecución de la producción (MES), que tiene como fin la planificación de la instalación industrial, con ayuda de los datos recopilados se planifican las tareas de mantenimiento, así también la programación del nivel de productividad a manejar [32].

- ***Nivel 5.*** Es el nivel de gestión, la meta de la pirámide y aquí se encuentra los sistemas de gestión integral (ERP), aquí cada una de las decisiones que se toman son de nivel corporativo con la finalidad de controlar y hacer un seguimiento de todos los procesos de la empresa [32].

b. Control lazo abierto

En estos sistemas, el producto final depende de un único proceso de fabricación, sin la existencia de cambios o perturbaciones dentro de las etapas de producción; es decir, una única señal de entrada sobre la cual actuar para obtener una producción con variables imparciales ante las perturbaciones del proceso [33]. En la Figura 23, se presenta un lazo de control abierto.

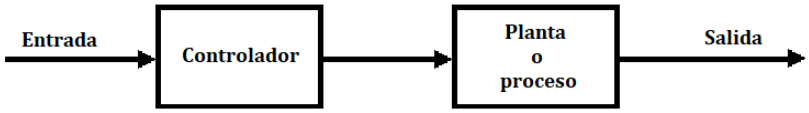


Figura 23. Sistema de control en lazo abierto

c. Control lazo cerrado

En este tipo de sistema, la respuesta depende de la señal de salida una vez comparada con la de entrada de referencia; es decir, existe una retroalimentación por medio de sensores y actuadores, como se observa en la Figura 24. Este tipo de sistema tiene mayor estabilidad ante las perturbaciones que se pueden presentar en el proceso de fabricación [33].

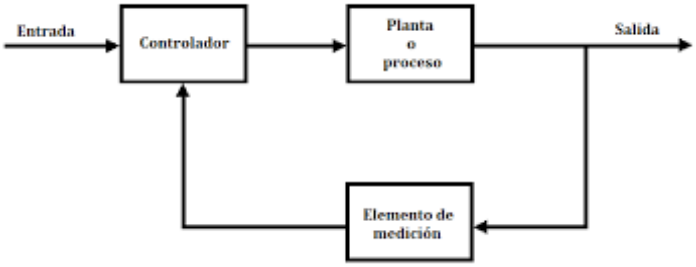


Figura 24. Sistema de control en lazo cerrado

1.3.4 Sistema SCADA

Un sistema SCADA es un programa que comunica al ordenador con los equipos que controla el proceso, con objetivo que el operador pueda supervisar desde el ordenador todo el funcionamiento del proceso [31].

Un sistema SCADA puede leer o escribir valores en la memoria de los equipos, ofreciendo el estado de distintas variables en un periférico de salida virtual. Mediante esto, el operador puede ejecutar funciones como la puesta en marcha y el paro de los parámetros de funcionamiento [34].

1.3.5 Arquitectura de los sistemas SCADA

Un sistema SCADA se encuentra dividido en tres bloques principales; detallados gráficamente en la Figura 25:

- Software de adquisición de datos y control (SCADA)
- Sistemas de adquisición y mando (sensores y actuadores)
- Sistema de interconexión (comunicaciones)

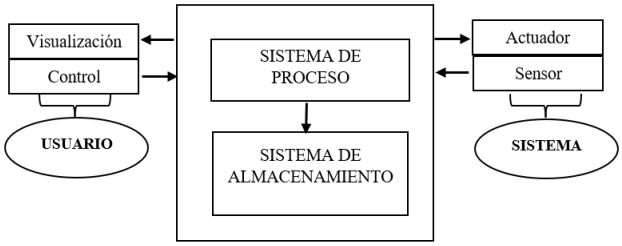


Figura 25. Arquitectura básica de un sistema SCADA.

a. Hardware

Se encuentra formado por dos grandes bloques estos son:

- ***Los captadores de datos.*** Son servidores del sistema, encargados de recopilar los datos de los elementos de control del sistema, como autómatas, reguladores y registradores.
- ***Los utilizadores de datos.*** Son los clientes del sistema y se encargan de usar la información recogida por los ya mencionados captadores de datos, ya sea como herramientas de análisis de datos o para los operadores del sistema [34].

En la Figura 26, se presenta una ilustración con la arquitectura básica del hardware de un sistema SCADA.

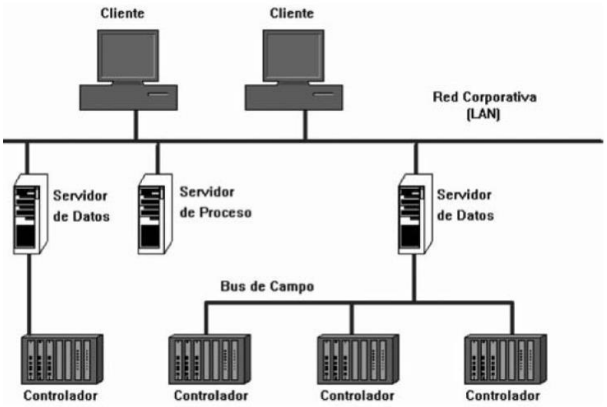


Figura 26. Arquitectura básica de hardware SCADA.

Dentro de este tipo de sistemas se puede encontrar:

- ***Interfase hombre-máquina (HMI).*** Es un sistema de representación gráfica con la función de un panel sinóptico, que representa de manera simplificada la funcionalidad o el estado de un sistema de control.

- ***Unidad terminal maestra central (MTU).*** Permite la interoperabilidad de multiplataformas y multisistemas. Este tipo de sistema debe estar basado en estándares asequibles, haciendo posible el intercambio de información en tiempo real entre los centros de control y las subestaciones en cualquier lugar. Se encarga de la impresión, la visualización de datos, el mando y la seguridad [34].

- ***Unidad terminal remota (RTU).*** Es aquel conjunto de elementos dedicados a labores de control y/o supervisión de un sistema, separados del centro de control y unidos mediante un canal de comunicación.

b. Sistema de comunicación

El intercambio de comunicación entre servidores y clientes se asemeja al principio de productor-consumidor. Esto permite establecer diversos tipos de comunicación entre un servidor de datos y los elementos generadores de datos, como registradores, autómatas y reguladores de proceso. Con la ayuda de estándares de comunicación existentes, es posible establecer conexión con cualquier elemento de campo.

c. Software

Cuando se ejecuta desde el ordenador o la terminal gráfica un programa HMI, los programas específicos permiten la comunicación con dispositivos de control de planta y elementos de gestión. Estos programas se denominan controladores (o drivers) de comunicación [34]. En la Figura 27, se detalla la arquitectura de un software.

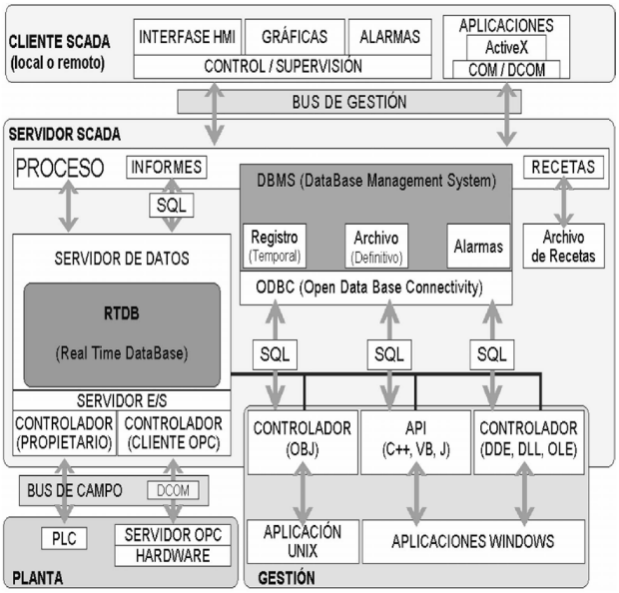


Figura 27. Arquitectura general de software

1.3.6 Componentes de un SCADA

El desarrollo de una interfaz gráfica SCADA describe componentes muy comunes estos se detallan a continuación [34]:

a. Configuración

Hace referencia al entorno de trabajo según las necesidades de la aplicación y debe cumplir con las siguientes características:

- La organización de las pantallas debe ser lineal o de tipo árbol.
- Debe existir una jerarquía en base a la importancia de los usuarios con grupos con privilegios que permitan o limiten su influencia sobre el sistema.
- La interfaz de las pantallas debe contener una serie de herramientas para la ejecución de tareas de manera rápida y sencilla.

b. Interfaz gráfica

Es la parte visual del sistema donde los operadores interactúan con los procesos industriales y supervisan su funcionamiento. Esta interfaz proporciona una representación gráfica de los datos en tiempo real y permite el control de los equipos y procesos desde una estación central [34].

c. Tendencias

Permiten visualizar la tendencia y evolución de las variables del sistema entre los usos más comunes se puede encontrar:

- Visualización de valores
- Desplazamiento de todo el registro histórico
- Ampliación y reducción de zonas concretas de una gráfica.

d. Alarmas y eventos

Estas alarmas desempeñan la función de vigilar los parámetros de las variables del sistema y son conocidas como eventos no deseados que, si ocurren durante el proceso, pueden poner en riesgo la continuidad de una línea de producción. Existen alarmas normales de funcionalidad que deben registrarse en un historial para su análisis posterior, contribuyendo así a la toma de decisiones sobre posibles mejoras [34].

La categorización o priorización de las alarmas será establecida por la persona responsable del diseño del sistema de visualización, en colaboración con los usuarios y diseñadores.

e. Registro y Archivado

Es un archivo temporal de valores, basado en un patrón cíclico y limitado en tamaño. Al igual que un archivo de alarmas, se registrará una vez presentado, acompañado de identificadores como el "timestamp", el usuario encargado, entre otros. Una vez alcanzado el límite definido, el archivo guardará una copia de los datos en caso de que el usuario desee recuperarlos [34].

f. Generación de informes

Son usados con la finalidad de recabar información más detallada de la funcionalidad, adquisición de datos, registro de datos y generación de alarmas [34]. Dicha información puede ser:

- Situación de la planta
- Producción en tiempo real
- Generación y registro de alarmas
- Adquisición de datos para análisis de históricos, control de calidad, cálculo de costes y mantenimiento preventivo.
- Gestión de almacenes, producción y mantenimiento.

g. Recetas

Son archivos que permiten configurar un sistema de manera automática. En caso de situaciones imprevistas, se ejecuta dicha receta para colocar diferentes elementos en posiciones determinadas, con el fin de evitar daños al proceso o a sus componentes [34].

h. Comunicaciones

Un sistema de comunicaciones permite el intercambio de información entre los elementos de la planta, las arquitecturas de hardware y los elementos de gestión. Esto se puede realizar mediante controladores específicos o genéricos [35].

1.3.7 Protocolos de comunicación

Son reglas o instrucciones que permiten la transmisión de datos o información sin errores de un punto a otro entre los dispositivos que forman una red de comunicación en las distintas etapas de la pirámide de la automatización [36].

a. Protocolo Modbus

El protocolo Modbus TCP se emplea en la industria de la automatización para comunicar dispositivos en la red, como controladores, ordenadores, sensores, actuadores, microprocesadores y equipos de entrada y salida con conexión a la red Ethernet. Es uno de los protocolos más comunes en la industria debido a su simplicidad y robustez [36].

b. Protocolo Profinet

Es un protocolo basado en Ethernet industrial, TCP/IP y otros estándares de comunicación del mundo TI. Este protocolo permite conectar dispositivos y sistemas, mejorando la velocidad y la seguridad de las comunicaciones, reduciendo costos y optimizando la producción [8].

c. Protocolo S7

Es una comunicación integrada (SFB) optimizada en SIMATIC S7, que realiza la comunicación entre PCs y estaciones de trabajo. Tiene una capacidad de 64 KB de datos útiles por petición. La comunicación es sencilla, ofreciendo una interfaz de software independiente de la red [8].

d. Protocolo OPC

Es un protocolo de comunicación abierta de uso en el ámbito industrial, basado en el principio cliente-servidor, que permite la comunicación continua de sensores y actuadores de manera individual hasta los ERP (sistemas de planificación de recursos empresariales) [37].

- ***Cliente OPC.*** Todo tipo de cliente OPC se puede comunicar con un servidor OPC independientemente del tipo de elemento que recoge los datos.

- ***Servidor OPC.*** Aplicación encargada de recopilar datos de diversos elementos de campo de un sistema automatizado con acceso libre a elementos de otras aplicaciones que sean requeridas [34]**.**

1.3.8 Softwares para diseño de sistemas SCADA

Dentro de los softwares para el diseño de sistemas SCADA se pueden mencionar los siguientes:

a. LabVIEW

Es una herramienta diseñada con el propósito de controlar, monitorizar y automatizar los procesos industriales, mediante cálculos complejos relacionados con señales analógicas y digitales obtenidas de tarjetas de adquisición de datos, puertos serie o buses de intercambio GPIB [38].

Entre sus características se puede mencionar:

- Su configuración permite al usuario definir un entorno SCADA intuitivo.
- Proporciona al operador funciones de control y supervisión de planta.
- Ejecuta acciones de mando programados a partir de valores actuales de las variables del proceso.
- Almacena y procesa los datos con la facilidad de que otros dispositivos tengan acceso a estos.
- Se encargan de la transferencia de información entre la planta y una arquitectura hardware.

b. WinCC Siemens

Es un sistema moderno que ofrece una interfaz cómoda para el usuario, con funciones fiables para el control del proceso industrial, fácilmente configurables y escalables desde tareas sencillas hasta las más complejas [39].

Sus principales características son:

- Un control y supervisión en tiempo real de los procesos.

- Los datos se pueden transformar en gráficos, diagramas y otros elementos visuales
- Permite realizar ajustes de manera directa desde la interfaz del proceso.
- Se acopla fácilmente a diferentes tecnologías con el fin de control y supervisar los procesos

c. Wonderware Intouch

Es una herramienta para el diseño de HMIs, que brinda una visión integral de todos los recursos de control y adquisición de datos e información, permitiendo que ingenieros, supervisores, gerentes y operarios observen e interactúen con el funcionamiento y la operatividad completa del proceso de producción a través de gráficos [40].

Entre sus principales características se puede mencionar:

- Gráficos orientados a objetos
- Enlaces animados, scripts
- Alarmas y eventos
- Tendencia histórica en tiempo real

d. Ignition SCADA

Inductive Automation ofrece una plataforma para el diseño de sistemas SCADA que permite la creación de interfaces de control para verificar el estado de la maquinaria, adquirir datos y almacenarlos para su posterior procesamiento o configuración de alarmas.

Este software modular, conocido por su flexibilidad, utiliza módulos o complementos que facilitan la comunicación con diversos PLCs a través de la integración con servidores mediante una arquitectura unificada de comunicaciones. Además, los datos recopilados son compatibles con cualquier base de datos SQL [41].

Ignition SCADA funciona como un servidor, ya que está basado en tecnología web, es decir, todas sus funciones se configuran a través de un cliente web. Ejecuta varias aplicaciones en paralelo, a diferencia de un monitoreo tradicional [42].

Una de sus principales ventajas es que permite un acceso ilimitado de usuarios a las aplicaciones, facilitando así el control y la supervisión de todo tipo de procesos y líneas de producción [43].

Además, trabaja con software adicional para complementar su comunicación con PLCs, ofreciendo entre sus principales características alarmas, bases de datos y gestión de históricos [43].

- ***Flujo de inicio Ignition .***-Toda aplicación de Ignition se inicia desde el Gateway Control, el cual permite la gestión y configuración del software. Entre las funciones que ofrece se incluyen la configuración de puertos, la apertura de la web, el reinicio del servidor, el respaldo de información y el ingreso de licencias [42]. Como se muestra en la Figura 28.

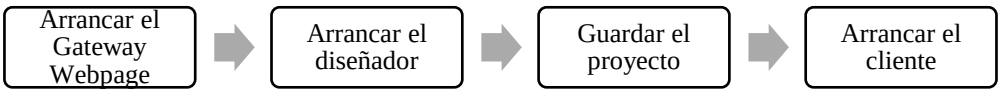


Figura 28. Flujo de inicio del diseñador Ignition

1.3.9 Normativa de los sistemas SCADA

Las normativas para el diseño de sistemas SCADA tienen como objetivo conocer y manejar un proceso industrial de manera correcta, mediante fundamentos estandarizados relacionados con la creación y regulación de sistemas SCADA. A continuación, se detallan algunas de las normas más comunes:

a. Estándar ANSI-ISA 101

Proporciona herramientas estandarizadas para el diseño e implementación de sistemas SCADA, así como buenas prácticas para la presentación de información en las pantallas. Aborda la designación, implementación y mantenimiento de HMIs para automatizar procesos, y ofrece orientación para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas SCADA.

- ***Diseño de botones***

El diseño de botones debe emplear los conceptos de diseño que se detallan en la Figura 29:

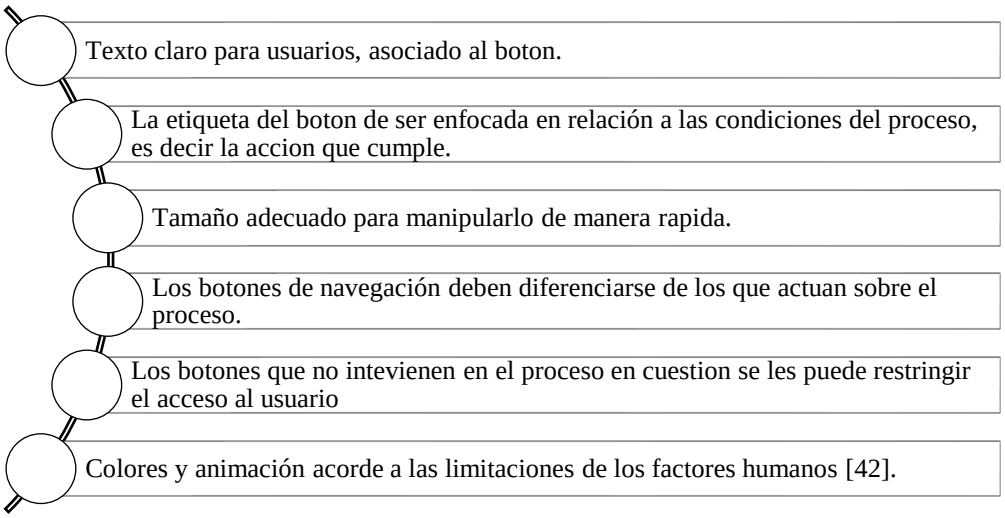


Figura 29. Directrices para diseño de botones acorde a la norma ISA 101.

- ***Colores***

En la Norma ANSI-ISA 101 se proporciona una guía para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de interfaces HMI. En este tipo de interfaces, el uso del color es sumamente importante. Los colores brillantes se emplean para llamar la atención sobre situaciones que podrían generar problemas, mientras que las pantallas que representan la operación de equipos como válvulas, bombas y otros componentes suelen utilizar colores brillantes y saturados [44]. La norma ISA también proporciona una tabla estandarizada para el uso de colores, que se muestra en la Figura 30.

Uso del color de la pantalla	Nombre del color	Definición
Fondo de todas las pantallas	Gris claro 224	R224 G224 B224 #EoEoEo
Color de botones	Plata 192	R192 G192 B192 #C0C0C0
Uso de color de objeto estático	Nombre del color	Definición
Texto	Gris oscuro 63	R063 G063 B063 #3F3F3F
Líneas de separación	Gris claro 216	R216 G216 B216 #D8D8D8
Uso del color de notificación	Nombre del color	Definición
Alarma de prioridad baja	Magenta	R145 G106 B173 #916AAD
Alarma de prioridad media	Amarillo	R245 G225 B027 #F5E11B
Alarma de prioridad alta	Naranja	R236 G134 B041 #EC8629
Alarma de prioridad urgente	Rojo	R226 G032 B040 #E22028
Color del estado del elemento	Nombre del color	Definición
Objeto desenergizado	Gris	R128 G128 B128 #808080
Objeto energizado	Blanquecino	R240 G240 B240 #F0F0F0
Desactivado	Gris	R128 G128 B128 #808080
Operaciones manuales	Celeste	R147 G194 B228 #93C2E4
Color de entrada de datos	Nombre del color	Definición
Unidades de ingeniería	Gris claro 91	R145 G145 B145 #919191
Color de visualización de datos dinámicos	Nombre del color	Definición
Color de los datos	Azul	R071 G092 B167 #475CA7
Fondo de gráficas	Gris claro	R212 G212 B212 #D4D4D4

Figura 30. Guía de colores estandarizada por la norma ANSI-ISA 101.

- ***Representación de valores del proceso***

La normar ANSI -ISA 101 ofrece algunas pautas relacionadas a la forma de presentar valores o datos del proceso estas se detallan a continuación en la Figura 31:

El valor debe presentarse en tiempo real en la pantalla con texto diferente al estatico.
Los valores deben mostrarse con precisión requerida por el operador en funcion del proceso.
Tamaño adecuado para manipularlo de manera rapida.
Una elección del azul oscuro combiana bien con el forndo gris y distingue los valores claros del texto solido
Las unidades de medida que se muestran en el texto no negrita estan cercanos al valore real.
Colores y animación acorde a las limitaciones de los factores humanos.

Figura 31. Pautas para presentación de valores según la ANSI-ISA 101.

b. Norma ISA-88 para control de procesos por lotes

La norma define el concepto de proceso por lotes, estableciendo las estructuras, entidades y planes de producción, así como la gestión de la información y el arbitraje. En otras palabras, un proceso por lotes proporciona al operario la información necesaria a través del sistema SCADA, permitiendo la toma de decisiones relacionadas con el funcionamiento efectivo del proceso.

c. Norma ISA-95 estándar integración de sistemas de la empresa y control

Es un estándar internacional para sistemas empresariales y de control, enfocado en el intercambio de información entre los diferentes sistemas de una organización, como ventas, producción, finanzas, mantenimiento y calidad. Esto forma pilas fundamentales para el desarrollo de interfaces entre los sistemas ERP y MES.

d. Norma ISO-9241

Es un estándar enfocado en el diseño ergonómico de programas para equipos con pantallas de visualización, proporcionando recomendaciones que sirven de guía para el desarrollo de interfaces gráficas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de control y monitoreo para un prototipo de enfundadora de granos en los talleres tecnológicos de la FISEI-UTA.

1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar sobre el diseño, funcionamiento y aplicaciones de interfaces SCADA-HMI en el sector industrial.
- Identificar los parámetros críticos de control y monitoreo en un prototipo de enfundadora de granos en los talleres tecnológicos de la FISEI-UTA.
- Implementar un sistema de control y monitoreo para el prototipo de enfundadora de granos en los talleres tecnológicos de la FISEI-UTA.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para el desarrollo del trabajo de investigación se emplearon los materiales que se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Materiales

Material	Figura	Descripción
Computador		Dispositivo físico por medio del cual se desarrolla el proyecto de investigación
Microsoft Word		Medio para el procesamiento y análisis de la información recolectada
Microsoft Excel		Medio para la tabulación de datos obtenidos en el desarrollo de la investigación.
Tía Portal		Portal para el desarrollo de la automatización integrada con diferentes herramientas para la automatización de los procesos industriales, usada en la programación de los bloques para el proceso de enfundado.
PLC 1200		Controlador lógico programable, encargado de automatizar el proceso industrial. Recibe la señal de los elementos de entradas sensores para accionar las salidas o actuadores del sistema de enfundado.

AutoCAD		Software de diseño y modelado 3D, empleado para el diseño de los planos mecánicos del prototipo de sistema de enfundado de granos.
Cadesimu		Software libre para diseño de planos eléctricos, usado en la esquematización de los diagramas eléctricos del prototipo de sistema de enfundado de granos.
Ignition		Ignition es un entorno integrado para el desarrollo de sistemas SCADA con aplicación industrial. Usado en el monitoreo de parámetros de control del prototipo de máquina para enfundar granos.
Arduino uno		Elemento de hardware programable usado en él envió y adquisición de los datos del sistema de enfundado de granos por medio de protocolos de comunicación.
Shield		Placa de circuito impreso que se conecta como un acoplamiento a los pines del arduino, agregando funciones de microcontrolador.
Módulo Max6675		Convertidor analógico a digital para los termopares tipo k que permite una conexión mediante la interfaz SPI unidireccional para la comunicación con un microcontrolador.
Termocupla tipo K		El termopar es un sensor de temperatura diseñado para medir altas temperaturas en superficies solidas.
Multímetro		Es un instrumento que permite realizar las mediciones de los parámetros como: resistencia, intensidad, tensión, frecuencia y potencia.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación

El desarrollo del presente proyecto de investigación requirió la aplicación de conocimientos e información relacionada con la implementación de los sistemas de control, monitoreo y adquisición de datos dentro del sector industrial.

a. Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica se aplicó mediante la recolección de libros, artículos de revistas, tesis de pregrado y posgrado, reportes de conferencias en congresos internacionales o nacionales en bases de datos como los son: scopus, web of science, springer link, scielo, google académico y repositorios institucionales las cuales permitieron el desarrollo del proyecto de investigación.

Esta investigación bibliográfica se realizó con el fin de obtener información puntual y confiable referente a temáticas como: el uso de sistemas automáticos de control, monitoreo y adquisición de datos dentro del sector industrial, identificación de los parámetros de control en sistemas automatizados y la implementación de los sistemas SCADA en el proceso de enfundado de granos.

b. Investigación aplicada

Se empleó una investigación aplicada en el diseño de un sistema de control y monitoreo de un prototipo de máquina de enfundado de granos, ya que fue fundamental la aplicación de conocimientos prácticos en las áreas de automatización, instrumentación industrial, máquinas eléctricas, circuitos eléctricos, simulación y AutoCAD. Desde un diseño mecánico, eléctrico y neumático del sistema, para establecer los parámetros de control y monitoreo del proceso, hasta un diseño e implementación del sistema SCADA.

Las pruebas de funcionamiento en cada uno de los sistemas que tiene el prototipo físico, así también el sistema virtual SCADA demostraron su eficacia en la supervisión y control del proceso en cada una de sus etapas mediante la lectura de los datos y

visualización del estado del proceso en tiempo real. Para el diseño del sistema de control, monitoreo y adquisición de datos se siguió la estructura detalla en la Figura 32.

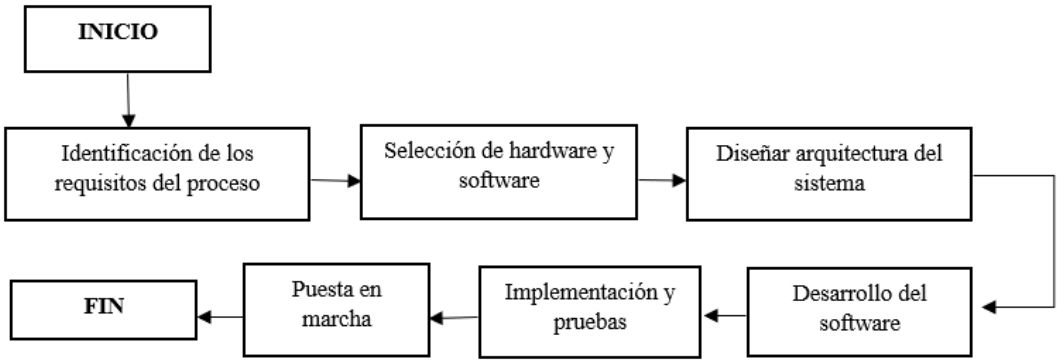


Figura 32. Proceso para diseño de sistemas SCADA.

2.2.2 Población y muestra

La presente investigación al tener una modalidad de investigación aplicada y el desarrollo se basa en diseñar un sistema para el control, monitoreo y adquisición de datos SCADA-HMI, no requiere datos de población y muestra.

2.2.3 Recolección de información

La recolección de la información se realizó por medio de la metodología PRISMA

a. Metodología prisma

- ***Preguntas de investigación.*** En función de la implementación de los sistemas SCADA dentro del sector industrial para el control, monitoreo y adquisición de los datos se planteó las siguientes preguntas de investigación que se describen en la Tabla 3.

Tabla 3. Preguntas de investigación

Número	Pregunta de investigación (RQ)	Motivación
RQ1	¿De qué manera impacta el diseño, funcionamiento y aplicabilidad de sistemas SCADA-HMI en el sector industrial?	Conocer acerca del diseño, funcionamiento y aplicaciones de interfaces SCADA-HMI en el sector industrial.
RQ2	¿Qué parámetros de control y monitoreo se deben considerar para el correcto funcionamiento de sistemas SCADA-HMI en el sector industrial?	Identificar los parámetros críticos de control, monitoreo y adquisición de datos en el sector industrial.
RQ3	¿Cuáles son los beneficios de implementar un sistema de control, monitoreo y adquisición de datos en el sector industrial?	Implementar un sistema de control, monitoreo y adquisición de datos en el sector industrial.

- ***Búsqueda de documentación.*** Para la búsqueda de la documentación se usaron términos de búsqueda relacionados con las preguntas de investigación planteadas, las cuales fueron introducidas en bases de datos de artículos científicos, libros y tesis considerando que la fecha de publicación de estas no sea mayor a los 5 años, los términos de búsqueda usados se detallan a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Términos de búsqueda

# Búsqueda	Términos de búsqueda en inglés	Términos de búsqueda en español	Punto de vista	¿Responde a pregunta de investigación?
1	Design, operation, applicability, systems, SCADA, HMI	Diseño, funcionamiento, aplicabilidad, sistemas, SCADA, HMI	VP1	SI (primera pregunta)
2	Parameters, control, monitoring, operation, machine, industrial	Parámetros, control, monitoreo, funcionamiento, máquina, industrial	VP2	SI (segunda pregunta)
3	Benefits, implement, system, control, monitoring, acquisition, data,sector, industrial	Beneficios, implementar, sistema, control, monitoreo, adquisición, datos, sector, industrial.	VP3	SI (tercera pregunta)

- ***Selección de documentación.*** Dentro de esta etapa se consideró criterios de inclusión y exclusión de los documentos recopilados los cuales se describen en la Tabla 5.

Tabla 5. Criterios de inclusión y exclusión

Número	**Inclusión**	**Exclusión**
C1	Artículos afines a la temática	Artículos duplicados
C2	Artículos en inglés y español	Conferencias, libros, informes, página web.
C3	Artículos relacionados con sistemas de control, monitoreo y adquisición de datos en el sector industrial.	Investigaciones realizadas en otras áreas que no sea la industrial.
C4	Artículos relacionados con los parámetros de control en sistemas automatizados del sector industrial	Artículos no relacionados al tema
C5	Artículos relacionados con los beneficios de implementar un sistema de control y monitoreo	Artículos no relacionados al tema
C6	Artículos últimos 5 años	Artículos con más de 5 años de antigüedad.

Las bases de datos springer link, web of science, scopus, scielo y google académico fueron las seleccionadas para la búsqueda de información y una vez aplicados los criterios de inclusión y exclusión se obtuvo un total de 34 documentos relacionados a la temática del proyecto de investigación los cuales contemplan artículos científicos, libros y tesis de grado y posgrado, la etapa de selección de los documentos se detalla en la Figura 33.

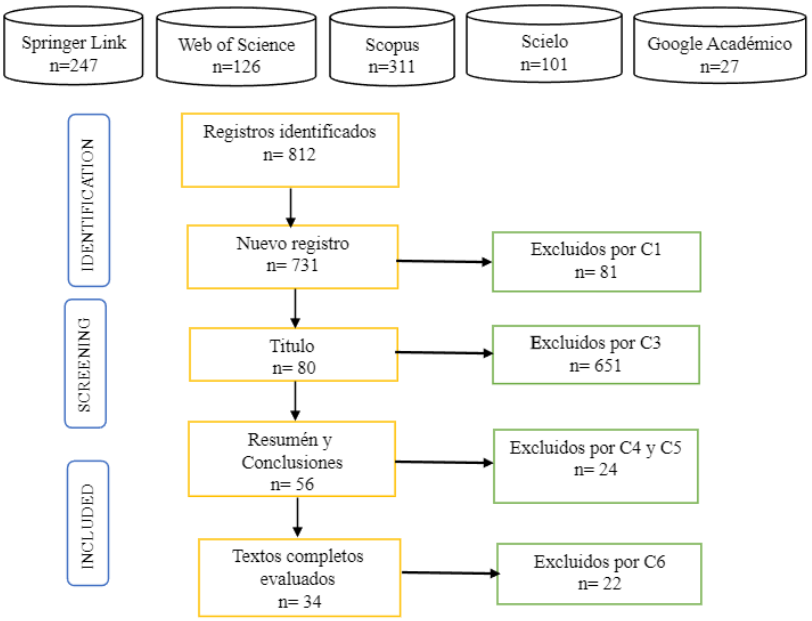


Figura 33. Selección de documentos

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos del presente proyecto se desarrolló en función de las etapas que se detallan a continuación.

Etapa 1

La primera etapa consta de la recolección de la información por medio de la aplicación de la metodología prisma y dentro de la cual se realizó los siguientes apartados:

- Establecimiento las preguntas de investigación
- Búsqueda y selección de la documentación en función de los criterios de inclusión y exclusión.
- Se dio respuesta a las preguntas de investigación.

Etapa 2

En la etapa 2 se estableció los parámetros de control y monitoreo que se tomaran en consideración para el diseño del sistema SCADA para el prototipo de enfundadora de granos.

- Se desarrollo el flujograma del funcionamiento del prototipo de enfundadora de granos.
- Se diseño los planos del sistema mecánico, eléctrico y neumático en un simulador adecuado.
- Se selecciono los equipos y herramientas necesarias para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Se aplico mejoras dentro del sistema mecánico, eléctrico y neumático del prototipo de enfundadora de granos.
- Se genero bloques de programación para el adecuado funcionamiento del prototipo de enfundadora de granos.
- Se estableció los parámetros a controlar dentro del sistema de enfundado de granos.

Etapa 3

En esta etapa se desarrolló el diseño del sistema SCADA del prototipo de enfundadora de granos.

- Se selecciono el software más adecuado para el diseño de la interfaz SCADA-HMI
- Diseñar el sistema SCADA-HMI
- Realizar las pruebas de funcionamiento.
- Presentación de resultados.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Talleres tecnológicos

Los Talleres Tecnológicos de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial fue creada con la finalidad de proveer servicios a la comunidad mediante la realización de trabajos y proyectos específicos, asesorías, estudios, investigaciones, cursos de entrenamiento, seminarios y otras actividades de servicios a los sectores sociales y productivos, de igual forma fortalecer el aprendizaje del estudiante universitario en las áreas de tecnologías de la información, Ingeniera Industrial, Telecomunicaciones e Ingeniería en Software [45].

3.1.1 Misión

Ser un taller líder e innovador que aporte conocimientos científicos en sus estudiantes, con integración de saberes en campos multidisciplinarios, comprometidos con el desarrollo de la matriz productiva de la nación, mostrando una sólida educación en valores universales, morales y socio-culturales [45].

3.1.2 Visión

Ser líderes en la oferta de servicios efectivos y eficientes utilizando la más alta tecnología para apoyar los procesos de enseñanza y aprendizaje, el desarrollo de los servicios académicos, administrativos y de investigación que conforman el trabajo del Recinto Universitario[45].

3.1.3 Prototipos de sistemas automatizados disponibles

Los Talleres Tecnológicos de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial con la finalidad de que sus estudiantes

se formen de una manera integral, cuenta con prototipos de máquinas que simulan el funcionamiento de un proceso industrial, entre los prototipos más comunes se tiene:

a. Proceso industrial de embotellado de líquidos

La producción y distribución de agua embotellada se ha priorizado en los últimos años al ser un recurso escaso con distribución temporal y desigual teniendo un auge por su agotamiento y contaminación, generando que varios países se enfrenten a graves crisis hídricas. Es por esto que las industrias encargadas del embotellado de agua buscan garantizar la calidad de sus productos, la eficiencia en el proceso de producción y la capacidad para liderar el mercado, esto mediante la inmersión en los avances tecnológicos y la automatización por completo de sus procesos [46]. En la Figura 34, se puede apreciar una ilustración del prototipo de embotellado de líquidos.

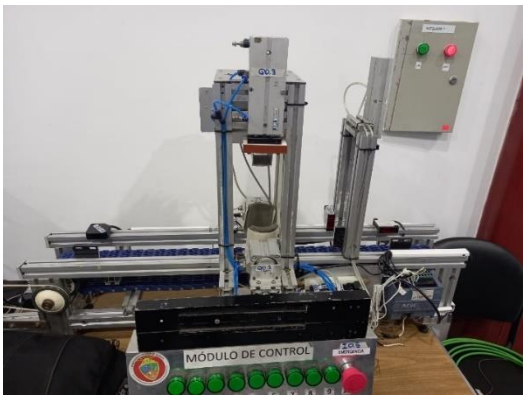


Figura 34. Prototipo embotelladora de líquidos

b. Proceso de taladrado automático de piezas

El proceso automático de perforación de piezas es uno de los más comunes dentro de las industrias esto con el fin de mejorar la calidad de piezas fabricadas, reduciendo el daño por manipulación continua, así también asegurar la seguridad del operario. La necesidad por parte del sector industrial de tener una producción masa rápida y con mayor precisión ha llevado al uso de herramientas tecnológicas que automatice dicho proceso [47]. En la Figura 35, se puede apreciar una ilustración del prototipo de perforadora de piezas.

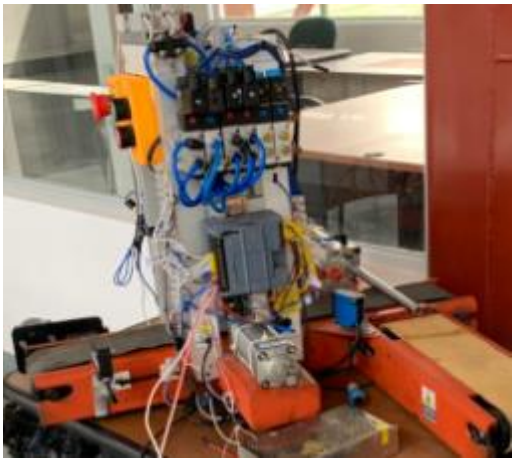


Figura 35. Prototipo de perforadora de piezas

c. Molido de granos

El proceso de molienda de granos secos es una de las actividades que en su mayoría se desarrolla de manera manual ya que es considerada una actividad que requiere el esfuerzo físico, la mano de obra usada para el desarrollo de esta actividad es altamente requerida, ante esta necesidad surge el interés de crear mecanismos automáticos que ayuden a mejorar los tiempos de producción y garantice el bienestar de los trabajadores [48]. En la Figura 36, se puede apreciar una ilustración del prototipo de moledora de granos.

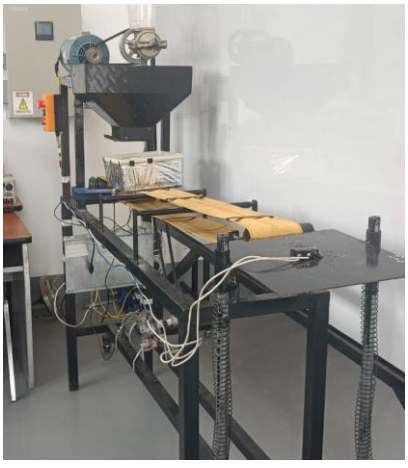


Figura 36. Prototipo de moledora de granos secos.

d. Limpieza de gavetas de almacenamiento

La limpieza y desinfección de los elementos de un proceso productivo es uno de los enfoques principales a cumplir dentro de una industria alimenticia, esto con el fin de cumplir con los estándares de calidad de los diferentes productos que se ofrecen en el mercado. Ante esto surge la necesidad de diseñar sistemas automatizados para limpieza de envases reutilizables en el proceso. En la Figura 37, se presenta una ilustración del prototipo de lavadora de gavetas.

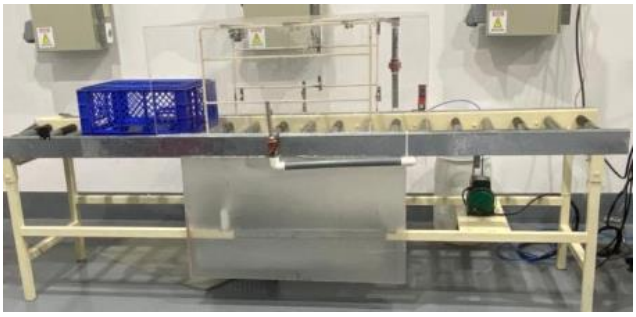


Figura 37. Prototipo de lavadora de gavetas

e. Ubicación de piezas por mecanismos automatizados

El uso de sistemas robotizados dentro de las industrias se ha vuelto una necesidad, esto ante el crecimiento de la demanda de determinados productos en el mercado, a la ampliación del área de producción y la proyección hacia la industria 4.0 y a la inmersión de la automatización de los procesos industriales [49]. En la Figura 38, se presenta una ilustración del prototipo de brazo cartesiano.



Figura 38. Prototipo de brazo cartesiano.

f. Dosificado de productos

El dosificado de productos y sustancias es una necesidad muy popular dentro del ámbito industrial alimenticio, farmacéutico, construcción, metalúrgico, entre otros, automatizar este proceso ya se ha convertido en una necesidad, debido a la alta precisión requerida, eficiencia y productividad de una planta. En la Figura 39, se presenta una ilustración del prototipo de dosificadora.

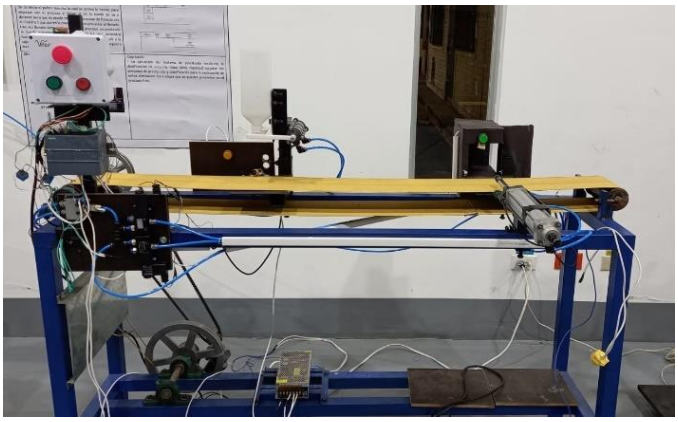


Figura 39. Prototipo de dosificadora

3.2 Resultados y discusión de la información recolectada por medio de la metodología

Para la búsqueda de la información se aplicó la metodología PRISMA con las preguntas de investigación:

RQ1: ¿De qué manera impacta el diseño, funcionamiento y aplicabilidad de sistemas SCADA-HMI en el sector industrial?

RQ2: ¿Qué parámetros de control y monitoreo se deben considerar para el correcto funcionamiento de sistemas SCADA-HMI en el sector industrial?

RQ3: ¿Cuáles son los beneficios de implementar un sistema de control, monitoreo y adquisición de datos en el sector industrial?

Las bases de datos springer link, web of science, scopus, scielo y google académico proporciono los siguientes resultados:

3.2.1 Diseño, funcionamiento y aplicación de sistemas SCADA-HMI

En respuesta a la pregunta RQ1, respecto al impacto del diseño, funciones y aplicaciones de los sistemas SCADA en el ámbito industrial se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6. Diseño, funciones y aplicaciones de los sistemas SCADA

Diseño	Funciones	Aplicaciones
• El diseño de un sistema SCADA se basa en un conjunto de características que agrupan el proceso de control automatizado en conjunto con una base de adquisición de datos, representación gráfica y animada de variables de control, monitorización por medio de alarmas, acciones para el control, modificación y evolución del proceso [33]. • El diseño de una arquitectura abierta y flexible con capacidad de ampliación y adaptación, conectividad con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación, explotación de los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera [18]. • En el diseño de un sistema SCADA el panel de operario es fundamental en todo proceso productivo, este debe contar con dispositivos de control, supervisión y parada de emergencia fundamental en una gestión integral del proceso [50]. • El diseño de un sistema SCADA debe contener componentes gráficos como numéricos. Además, la HMI debe utilizar terminología estandarizada y clara para el usuario final, esto para el registro histórico de las	• Los sistemas SCADA tienen la función principal de brindar visualización de operaciones dentro de un proceso automatizado que en sus mayoría son controlados por controladores lógicos programables [51]. • Un sistema SCADA-HMI está formado por paneles de interfaz de usuario con la función de conectar al operario con los dispositivos ubicados en campo los cuales pueden ser: sensores, válvulas, alarmas, luces, interruptores los cuales pueden ser monitoreados y controlados en busca de la eficiencia de un proceso [56] [36]. • Funcionan como sistemas de información creados con el fin de mejorar los procesos mediante la obtención de datos provenientes del área de producción para la visualización y procesamiento por parte de operadores o supervisores de calidad y mantenimiento [18]. • Una de las principales funciones de un sistema SCADA es gobernar todos aquellos dispositivos que intervienen dentro de un proceso industrial por medio de su sistema de	Los sistemas SCADA en la actualidad están inmersos en procesos simples y complejos como el control ambiental de una oficina hasta una planta de generación nuclear o hidroeléctrica entre estas se pueden mencionar [2]: • Comunicaciones. • Control de sistemas de Aguas residuales y desperdicios. • Generación de energía eléctrica • Refinerías de gas y aceite. • Industria petroquímica Los sistemas SCADA industriales en general son aplicados para adquirir datos, monitorear, controlar, supervisar máquinas, repartos, plantas o equipos industriales, tales como [52]: • Telecomunicaciones • Control de distribución del agua • Desechos fecales y pluviales • Control de sistemas de nivel y presión de fluidos • Control de sistemas industriales de pesaje y densidad. • Generación de energía. • Refinación y transporte de petróleo y gas. Como otras aplicaciones de un sistema SCADA se puede mencionar [60]: • Supervisión de redes de baja y media tensión. • Control de calidad en el tratamiento térmico de metales.

variaciones de las variables, su comportamiento y respectivas predicciones [3]. • Las entradas/salidas, el HMI, el controlador de hardware de señal, las redes, la comunicación, la base de datos y el software forman parte del diseño de un sistema SCADA[51]. • Los primeros diseños de un sistema SCADA contaban con capacidad limitada para la supervisión y control de un proceso y facilidad para transmitir un número límite de determinadas variables y condiciones de una planta, sin ejecutar ninguna actividad de control sobre el proceso. Al pasar los años esto ha cambiado con el desarrollo tecnológico que ahora permite almacenar información a través de unidades terminales remotas o (RTU), y de esta forma realizar la adquisición de datos de una planta, presentando resultados del proceso de una manera más sencilla y en tiempo real [2] [8]. • Los requerimientos de diseño de un sistema de control y monitoreo se basa en el funcionamiento de la máquina en la cual se deben considerar cada una de las etapas que lo forman, teniendo en cuenta el número de señales de sensores que se tiene a la entrada del proceso y que ingresan al controlador lógico programable, de la misma manera se deben considerar el número de salidas del proceso (Actuadores del sistema)[52]. • El diseño de un sistema SCADA se fundamenta en 3 bloques: 1. Software de adquisición de datos y control para el almacenamiento de los datos	control y gestión de la información apoyado de registros y alarmas y la toma de decisiones por parte de los operarios [50]. • Un sistema SCADA permite supervisar y controlar los procesos industriales a distancia y ayuda a proporcionar retroalimentación en tiempo real a nivel de campo (sensores y actuadores) [57]. • Informar al operador de todas y cada una de las actividades de un proceso industrial por medio de una interfaz hombre-máquina (HMI) para que este sea quien tome decisiones respecto a las acciones de control [3]. • Las funciones de un sistema SCADA se basa en: Software de adquisición de datos y control, sistema de adquisición y mando (sensores, actuadores) y sistemas de interconexión por medio de los protocolos de comunicación [58]. • Las funciones de un sistema SCADA se basan en: adquirir datos por medio del almacenamiento de la información del proceso, la supervisión quien se encarga de observar la evolución del proceso, comportamiento histórico, eficiencia y posibles fallas y finalmente el control es decir actuar sobre el proceso y modificar su evolución para el correcto funcionamiento [2].	• Sistema de prueba de estufas de leña. • Control de supervisión de una planta de hilatura. • Monitoreo de dispositivos médicos con temperaturas controladas. • Sistema de monitorización del nivel de contaminación por polvo. • Control de supervisión de una planta de producción de películas. • Sistema de control de calidad en la industria alimentaria. • Control de supervisión de la planta de producción de helados. • Control de supervisión de hornos de ladrillo y cerámica. • Control y supervisión de una instalación automática para el tratamiento térmico. • Supervisión de plantas para la producción de vino.

adquiridos del proceso a supervisar. 2. Sistema de adquisición y mando que son los dispositivos que actúan en el proceso para modificar las desviaciones medidas por los sensores. 3. Sistema de interconexión que revisa el comportamiento de las variables de estado y variables de control, muestra históricos de funcionamiento y fallos que el proceso ha experimentado durante un período de tiempo [53]. • El diseño de los HMI's actualmente se apegan a la norma ISA SP101 (2015), con el objetivo de orientar al usuario a diseñar de una manera más sencilla y técnica un interfaz gráfica que permita la visualización del estado de una planta y facilitar la toma de decisiones todo esto mediante: Configuración, Interfaz gráfica, Tendencias, alarmas y eventos, registro y archivado, generación de informes, control de procesos y recetas [53] [54]. • El avance tecnológico y la proyección a gran escala de las industrias ha hecho que las tecnologías de la información estén formadas por la planificación de recursos empresariales ERP y los sistemas de control supervisión y adquisición de datos (SCADA), trabajen en conjunto con un diseño que facilite la adquisición de datos y el control óptimo de sus procesos [55].	• La función de monitoreo de estos sistemas se realiza sobre un computador industrial, ofreciendo una visión de los parámetros de control sobre la pantalla de ordenador, denominado como HMI (Human Machine Interface) [59].	

3.2.2 Parámetros de control, monitoreo y adquisición de datos de sistemas SCADA-HMI en el sector industrial

Como respuesta a la pregunta RQ2, referente a qué parámetros de control y monitoreo se deben considerar para el correcto funcionamiento de sistemas SCADA-HMI en el

sector industrial, se considera que un proceso de control automatizado está formado por varios tipos de sistemas los cuales presentan parámetros que deben ser [2][26]:

- Controlados. - es decir actuar sobre el proceso con el fin de modificar su evolución y de esta manera garantizar el correcto funcionamiento del proceso. Esto se realiza sobre reguladores autónomos y/o PLC's, modificando consignas, niveles de alarma, etc.

- Supervisados. - hace referencia a observar la evolución y comportamiento histórico, su eficiencia, así también de las posibles fallas, variables de control y de estado del proceso para realizar un análisis de gestión de alto nivel. Para finalmente por medio de la adquisición de datos se almacene la información del funcionamiento del proceso a ser supervisado [53].

Estos sistemas con sus respectivos parámetros se detallan a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de control a considerar en el diseño de un SCADA-HMI

Sistema	**Descripción**	**Componentes**	**Parámetros.**
Eléctrico	Dentro de este tipo de sistema se encuentran aquellos dispositivos que conectados entre sí permiten el flujo eléctrico entre equipos con el fin de que este realiza su trabajo [56].	• Conductores. cables, pulsadores, luces, relés, fuente de alimentación • Sensores. inductivos, capacitivos, fotoeléctricos, de temperatura • Actuadores. motores eléctricos, contactores, transformadores.	• Voltaje (max, min) • Corriente • Temperatura (Max, Min) • RPM
Neumático	Un sistema neumático a diferencia del eléctrico tiene como fuente de alimentación el aire [56].	Cilindros neumáticos, Electroválvulas, pinzas neumáticas, reguladores, unidades de mantenimiento, compresor.	• Presión • Voltaje • Corriente
Mecánico	Dentro del sistema mecánico se consideran los sistemas de transmisión requeridos por el proceso industrial, así también el tipo de estructura necesaria [56].	• Transmisión por engranaje • Transmisión por cadena • Transmisión Biela-manivela • Transmisión por tornillo sin fin.	• Longitud • Diámetro • Velocidad

Sistema hidráulico	El sistema hidráulico se refiere a aquellos componentes encargados del transporte y control de los fluidos que puede ser agua, aceite, sustancias no oxidantes y lubricantes o a su vez de aquellas fuerzas que lo determinan [22].	• Tuberías, canales • Tanques de deposito • Bombas • Válvulas	• Presión • Caudal • Viscosidad • Rozamiento

3.2.3 Beneficios de implementar un sistema de control, monitoreo y adquisición de datos en el sector industrial

En respuesta a la RQ3, referente a los beneficios de implementar un sistema de control, monitoreo y adquisición de datos en el sector industrial, se puede mencionar que, hoy en día son de gran utilidad en diversos procesos industriales de control con el objetivo de obtener procesos más eficientes, mejorar la seguridad de las personas y reducir los costos de operación. Su implementación genera ventajas para el operario por su facilidad de interacción con el proceso productivo y a su vez dotando al proceso de buena fiabilidad, es por esto que a continuación se mencionan algunas de estas en el sector industrial [50].

- Aumento de la eficiencia de la operación de un sistema de control y al mismo tiempo brindan una protección mejorada para el equipo que utiliza [51].

- Reduce la presencia humana desde un único punto de control y ayuda a realizar trabajos simultáneos con otros procesos.

- Mejor sincronización de los distintos procesos que puedan existir con objeto de mejorar la eficiencia del sistema, lo que repercutirá en los costes de producción y en los niveles de calidad obtenidos en el proceso de control.

- Minimizar “errores humanos” disponiendo al operador con información precisa y puntual acompañada de un conjunto de registros y alarmas.

- Diseño simple, una actualización rápida de datos, fuerte rendimiento en tiempo real, bajo costo, facilidad de mantenimiento, y excelente extensibilidad.

- Mejor control de un proceso en forma automática y rápida ya sea desde la pantalla del ordenador u otro elemento de transmisión gráfica, que posteriormente puede ser configurada por el usuario y modificada con facilidad [59].

- Fácil integración de sensores y actuadores a un programa PLC, por medio de tarjetas de adquisición disponibles para: tensión, corriente, sondas de temperatura, etc.

- Fácil localización de errores por medio de la gestión de alarmas o fallas.

- Fácil documentación de los programas de control que permita que los técnicos de mantenimiento puedan interpretar.

- Ofrece una visión general del sistema, y fácil identificación de problemas de rendimiento y en la planificación de la capacidad dentro de un ciclo de producción [52].

- El control de la producción de la planta se reduce a una estación o pantalla la cual es configurada para sea operada por un usuario de manera muy sencilla.

- Facilita la transferencia de información obtenida en los registros de un proceso productivo.

- Fortalece la inocuidad de los productos al evitar un contacto directo de los operarios con el proceso, a su vez garantiza su seguridad ante accidentes o incidentes.

- Optimiza el ciclo de producción y garantiza el cumplimiento de metas.

- Mejor trazabilidad de la producción con actualización de los registros de manera automática.

- Mejor gestión de los datos con fines de producción, mantenimiento, calidad y de comercio con veracidad y confiabilidad [33].

- Mejora la efectividad del operario reduciendo su índice de errores.

- Aumenta la productividad del proceso.
- Mejora en la calidad de los productos al reducir costos operacionales y de mantenimiento.
- Reduce tiempos de aprendizaje en el manejo de software a operadores [53].

3.3 Proceso de enfundado de granos

Un proceso de enfundado automático de granos debe pasar por etapas las cuales se detallan en la Figura 40. Este garantiza la calidad del producto y el tiempo de producción controlado, así también, la temperatura de sellados, tiempo de dosificación y arrastre de la funda plástica.

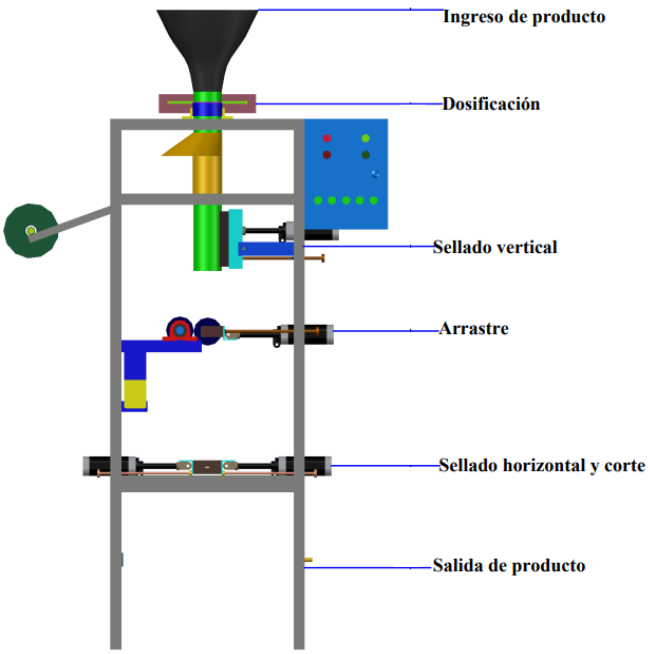


Figura 40. Proceso de enfundado de granos.

Las etapas del sistema de enfundado de granos son:

3.3.1 Dosificación

Está formado por un mecanismo de apertura acoplado al vástago de un cilindro neumático de doble efecto, este tiene dos posiciones en avance cierra la tolva y en

retroceso apertura la tolva dejando caer el grano hacia la bolsa por medio de un tubo dosificador, estas dos posiciones son controladas por una electroválvula 5/2.

3.3.2 Sellado vertical

Está formado por una mordaza para sellado por niquelina acoplado a un vástago de un cilindro doble efecto, este realiza el sellado una vez se haya ubicado el film plástico, mediante sus dos posiciones de avance y retroceso controladas por una electroválvula 5/2. El sellado se controla con un sensor inductivo que detecta el avance del cilindro neumático.

3.3.3 Arrastre

El mecanismo de arrastre está formado por un rodillo fijado a la estructura de la máquina el cual se mueve mediante una transmisión por correa que genera un motor reductor de 120 VCA. Un segundo rodillo se encuentra acoplado a un cilindro neumático de doble efecto el cual avanza una vez este ubicado el plástico tubular, el contacto de los dos rodillos hace que el film plástico se deslice hasta la siguiente etapa del proceso.

3.3.4 Sellado horizontal con corte

El sellado horizontal con corte se produce por medio de la presión ejercida entre dos cilindros doble efecto, en uno de ellos en su vástago se acoplo una mordaza de sellado por niquelina, y en el otro vástago una mordaza sobre la cual se ejerce la presión de sellado y corte del plástico dentro de esta etapa del proceso.

3.3.5 Salida del producto

La caída del producto enfundado es detectada por un sensor fotoeléctrico el cual envía una señal a la etapa de dosificado para que el ciclo de enfundado sea cíclico.

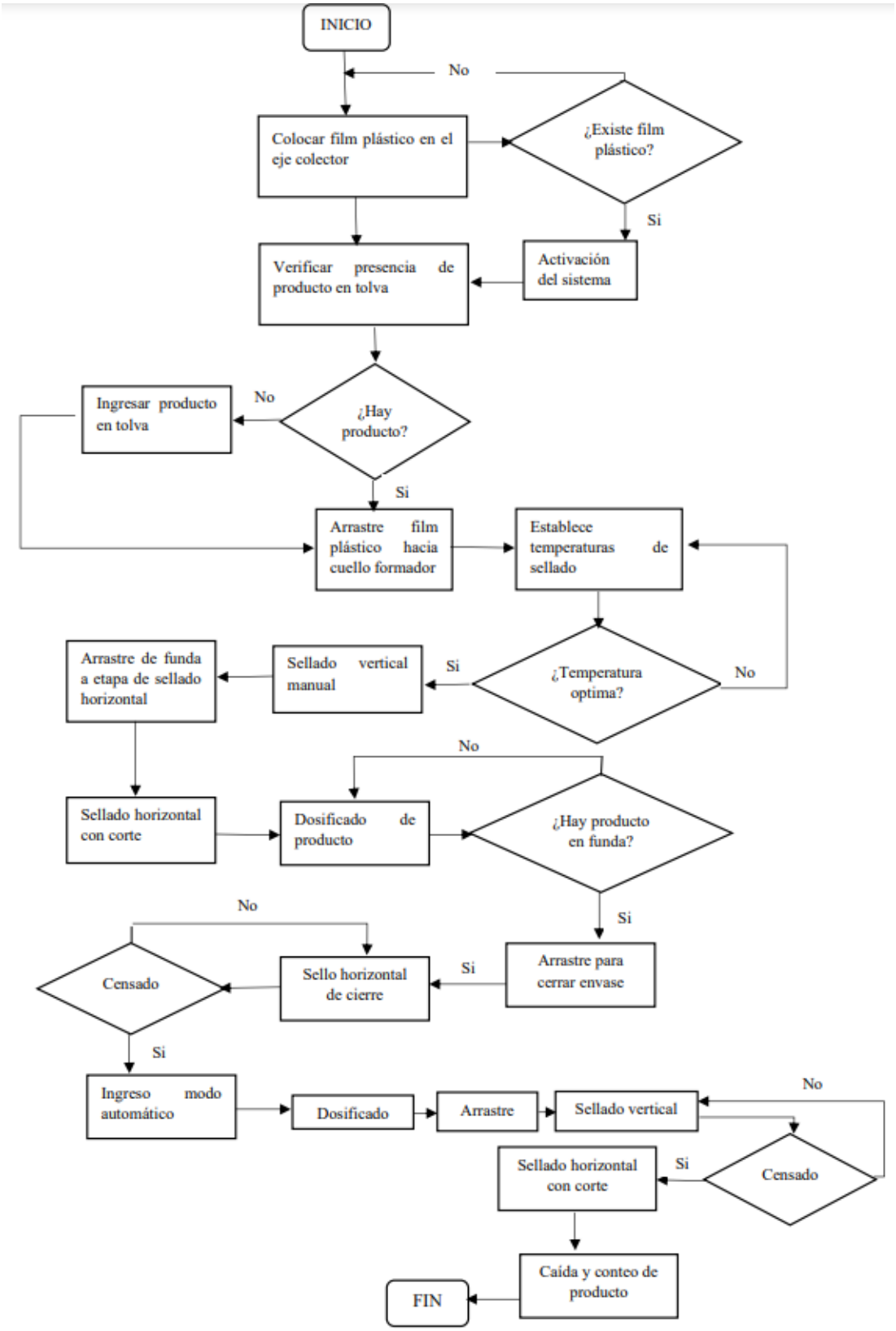


Figura 41. Secuencia para puesta en marcha del sistema de enfundado de granos

En la Figura 41, se detalla un diagrama de flujo para la puesta en marcha del sistema de enfundado, al energizar el sistema de enfundado el mecanismo de dosificado de producto estará cerrado para el posterior ingreso del producto en la tolva recolectora, así también debe existir el rollo de film plástico en el eje colector para el respectivo formado del envase.

Al pulsar el botón de marcha (I0.1), se activa el sistema y una luz piloto de color verde muestra la actividad del proceso.

El enfundado de la primera unidad se realiza mediante los botones manuales ubicados en el panel de control. Una vez que el film plástico ha sido arrastrado hasta la etapa de sellado vertical, se realiza el sello mediante el pulsador (I0.5).

Después de realizar el primer sello vertical, se lleva el film hasta la etapa de arrastre. Mediante el botón (I0.6), se arrastra el film hasta la etapa de sellado horizontal, donde se sella horizontalmente la funda utilizando el botón (I0.7). Posteriormente, mediante el sensor fotoeléctrico, se dosifica la primera funda.

Se activa nuevamente el arrastre de la funda para cerrar el envase mediante un nuevo sello horizontal con corte.

La salida del primer producto envasado indica el ingreso al modo automático, activando las etapas en el siguiente orden: dosificado, arrastre, sellado vertical y horizontal con corte, teniendo en cuenta los tiempos establecidos para la ejecución de cada una de las etapas.

3.4 Diseño mecánico de la estructura de enfundado

Una vez identificadas las etapas de funcionamiento del prototipo de máquina enfundadora de granos se puede detallar a profundidad el diseño estructural mecánico, de la misma.

3.4.1 Soporte estructural

El soporte estructural para el prototipo de máquina enfundadora se realizó con vigas rectangulares de acero de 6 x 4 cm como se muestra en la Figura 42. El acero al ser un material menos costoso es el adecuado para elaboración de estructuras sólidas con un tiempo prolongado de vida útil, la estructura está dividida en función de las etapas que componen el ciclo de enfundado de los granos.

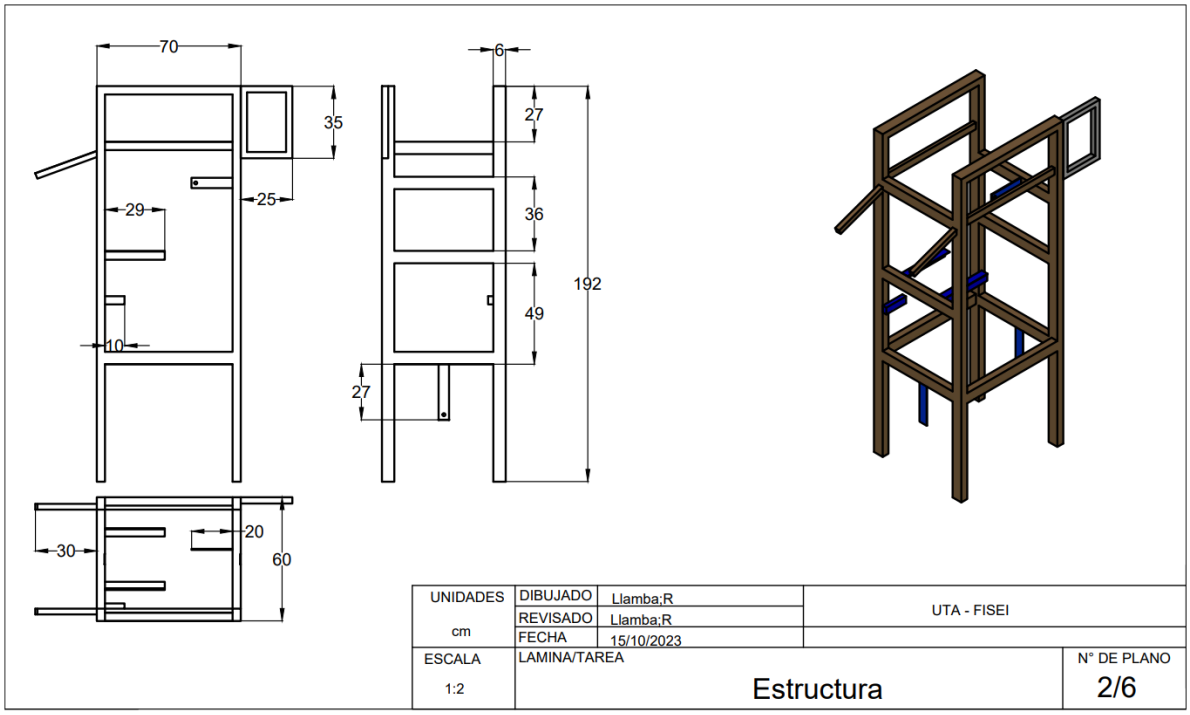


Figura 42. Medidas soporte estructural de la maquina

3.4.2 Etapa de dosificación

Dosificar el grano es importante para mantener el peso adecuado en cada una de las fundas plásticas, dentro de esta etapa el mecanismo de dosificado está formado por elementos que se observa en la Figura 43.

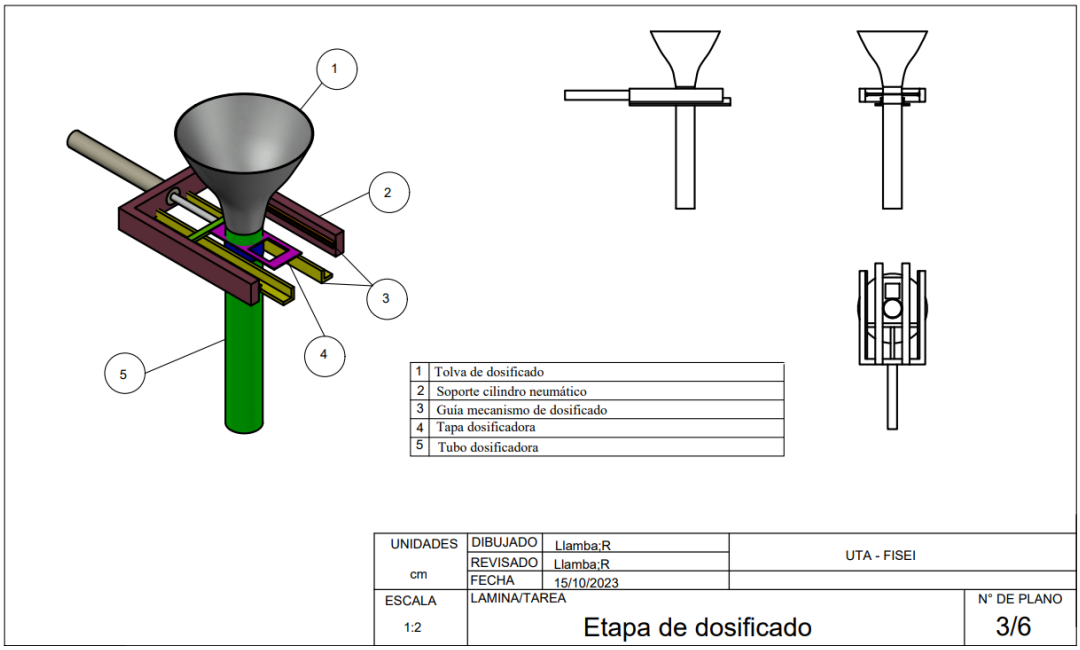
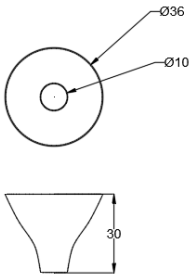
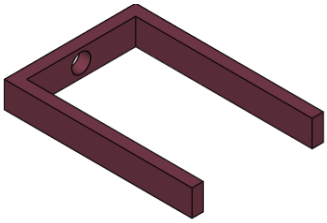
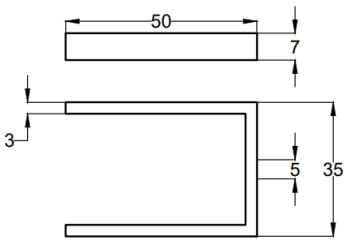
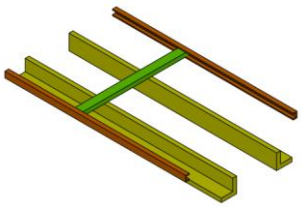
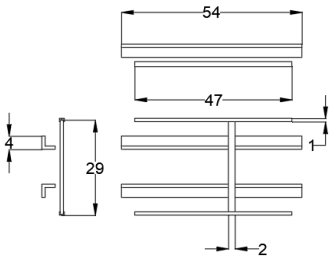
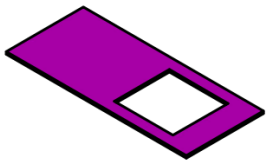
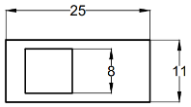
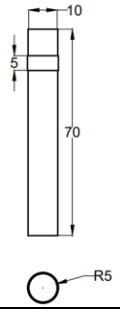


Figura 43. Elementos de la etapa de dosificación

Los elementos que forman la etapa de dosificación se detallan en la Tabla 8, con sus respectivas medidas.

Tabla 8. Elementos de la etapa de dosificación.

Elemento	Descripción	Dimensiones
1. Tolva de recolección 	La tolva de recolección tiene un diámetro exterior de 36 cm por donde ingresa el grano y un diametro interno de 10 cm unido al tubo dosificador por el cual cae el grano hacia el empaque.	
2. Soporte cilindro 	Está formado por una viga tipo U, de 50x35x7 cm, se encuentra ubica sobre la estructura y cumple las funciones de alojamiento del cilindro neumático y como guía de los mecanismos que forman parte de la etapa de dosificado.	
3. Guía mecanismo de dosificado	Son platinas metalicas que forman el mecanismo de avance y retroceso de un mecanimso para la	

	apertura o cierre de la tolva.	
4. Tapa dosificadora 	Platina metalica que se encuentra acoplada al mecanismo de dosificado, permite la dosificación adecuada del producto.	
5. Tubo dosificador 	Tubo de 10 cm de diámetro que permite la caída del producto dosificado desde la tolva. También sirve como base para el sellador vertical y como guía para el descenso de la funda plástica.	

3.4.3 Etapa de sellado vertical

Los elementos que se observa en la Figura 44, forman la etapa de sellado vertical de la máquina de enfundado, a la salida de esta etapa se obtiene un envase plástico de tipo tubular

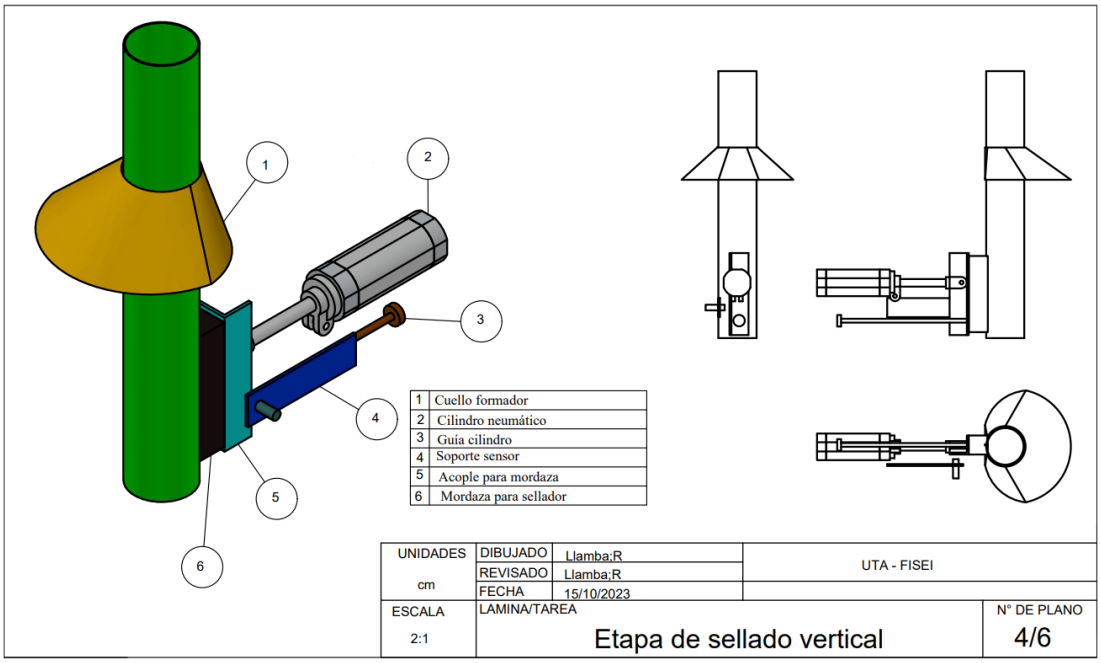
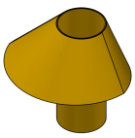
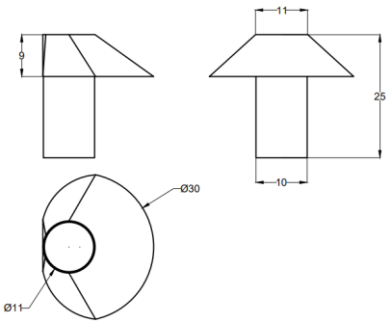
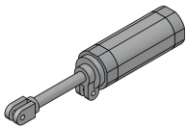
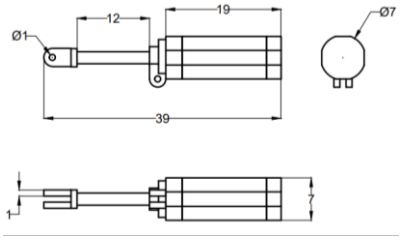
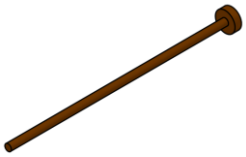
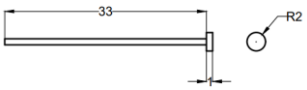
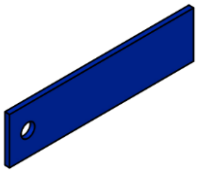
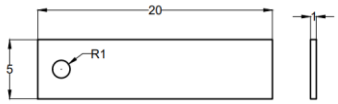
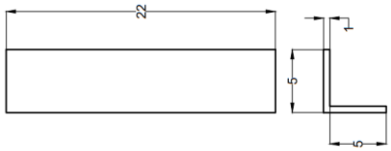
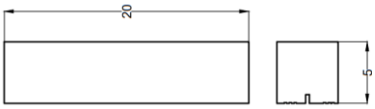


Figura 44. Elementos que forman la etapa de sellado vertical

Los elementos que forman la etapa de sellado vertical se detallan en la Tabla 9, con sus respectivas medidas.

Tabla 9. Elementos de la etapa de sellado vertical

Elemento	Descripción	Dimensiones
1. Cuello formador 	El cuello formador está fabricado en latón de 30 x 30 cm y tiene como función principal el formado de un envase del tipo tubular para el producto dosificado.	
2. Cilindro neumático 	El cilindro neumático es un elemento de avance y retroceso, cumple la función de sellado por medio de un mecanismo acoplado al vástago.	

3. Guía para cilindro 	Eje guía sujeto a la estructura de la máquina y al acople de la mordaza con la función de mantener la estabilidad del mecanismo de avance o retroceso del cilindro neumático.	
4. Soporte para sensor 	Está formada por una platina de 20x5 cm se encuentra ubicado de manera fija en la estructura junto a la etapa del sellado vertical, este soporte tiene como finalidad el alojamiento del sensor inductivo para verificación que se realizó el sellado.	
5. Acople para mordaza 	Es un acople tipo L de 22 cm de longitud fabricado con platinas de 3 mm grosor, tienen la función de acoplarse a la mordaza del sellador vertical.	
6. Mordaza para sellador 	Es un elemento fabricado en acero debido al contacto directo con el aumento de la temperatura de las niquelinas para el sellado que van sujetas al elemento.	

3.4.4 Etapa de arrastre

La etapa de arrastre tiene la función principal de mover el film plástico a través de las distintas etapas del enfundado de granos, el mecanismo de arrastre es formado por los componentes que se detalla en la Figura 45.

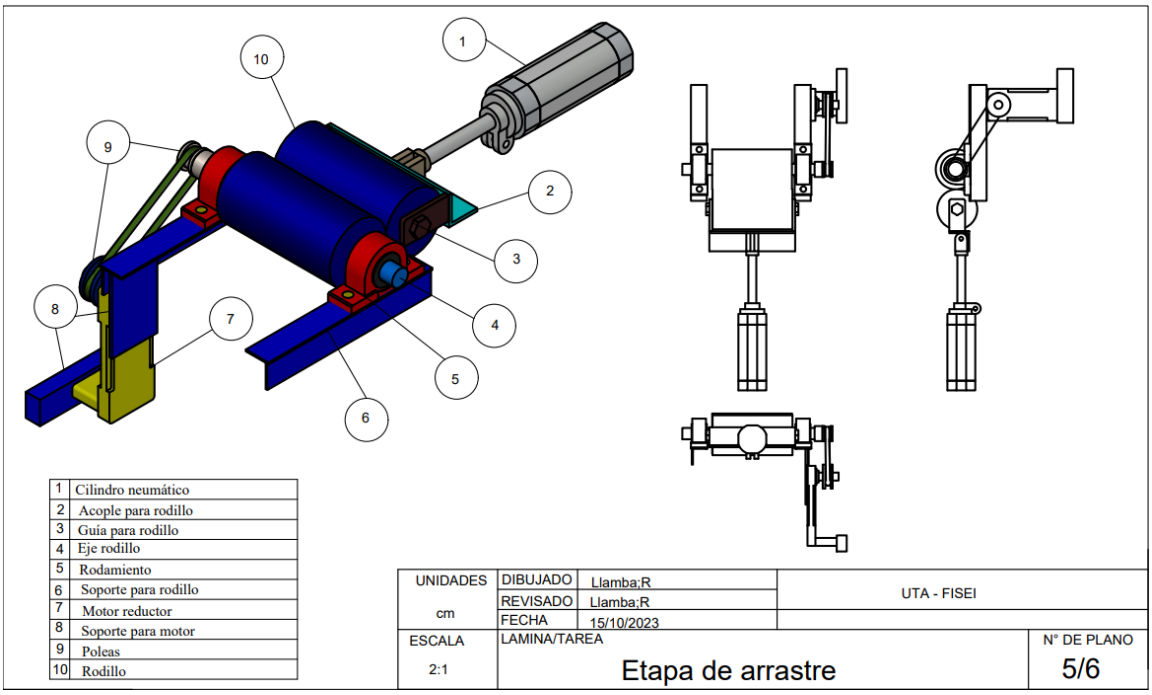
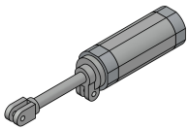
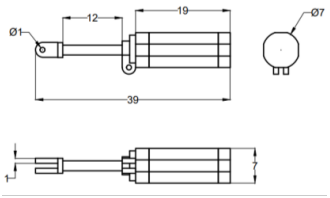
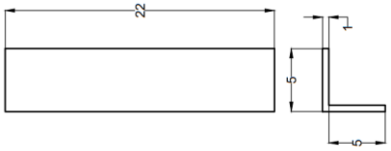
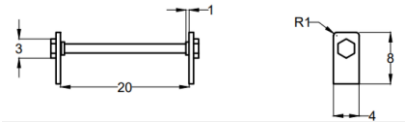
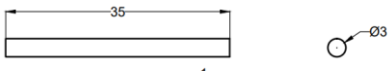
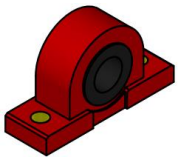
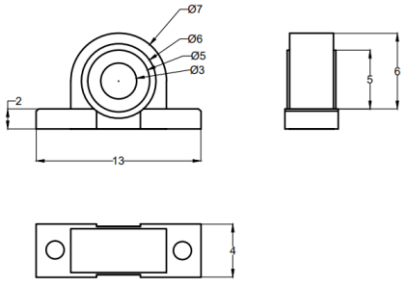
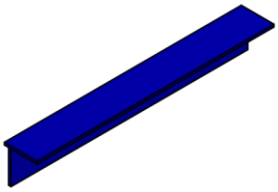
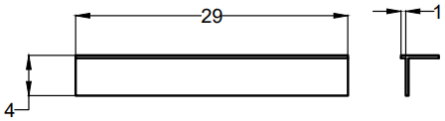
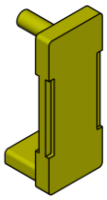
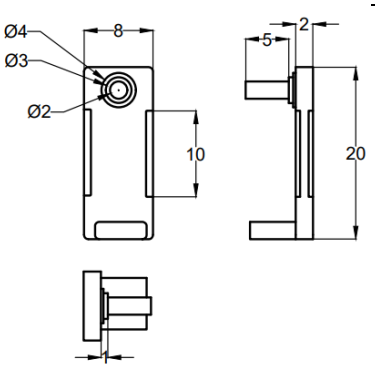
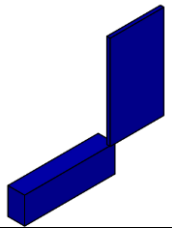


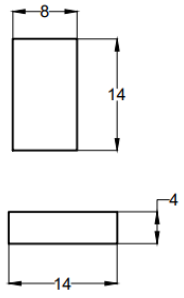
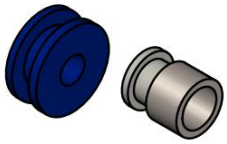
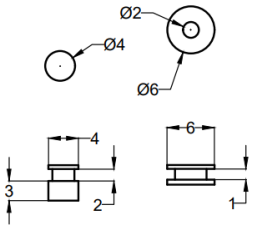
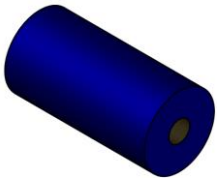
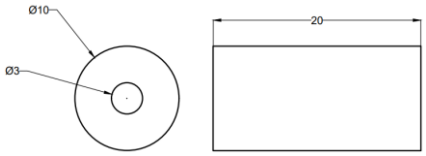
Figura 45. Elementos que forman la etapa de arrastre

Los elementos que forman la etapa de arrastre se detallan en la Tabla 10, con sus respectivas medidas:

Tabla 10. Elementos que forman la etapa de arrastre.

Elemento	Descripción	Dimensiones
1. Cilindro neumático 	El cilindro neumático es un elemento de avance y retroceso, en su vástago se acopla un rodillo el cual avanza una vez se encuentre el plástico en la etapa de arrastre al hacer contacto con el rodillo fijo estos mueven el envase plástico hasta la siguiente etapa del proceso.	
2. Acople para rodillo 	Platinas de 22 x 5 cm de longitud y de 3 mm de grosor dispuestas en L forman un acople para juntar el rodillo y el vástago del cilindro neumático.	
3. Guía para rodillo	Mecanismo que en conjunto con el acople permiten albergar el rodillo de arrastre en el	

	vástago del cilindro neumático.	
4. Eje 	El eje metálico de 35 cm de longitud y 1.5 cm de radio forma parte del mecanismo para acoplar el rodillo en el cilindro neumático.	
5. Rodamiento 6. 	Elemento mecánico que permite el movimiento del rodillo fijado a la estructura de la máquina por accionamiento de un motor reductor.	
7. Soporte para rodillo 	Se forma un soporte tipo T con dos platinas de 29x4 cm, ubicados en la etapa de arrastre de funda, cumplen la función de soporte para el rodillo de arrastre fijo y de igual forma como acople para albergar el rodillo en el cilindro de arrastre.	
7. Motor 	Elemento mecánico que acciona el mecanismo de arrastre del rodillo fijo. Su alimentación son 120 VCA.	
8. Soporte para motor 	Platinas sujetas a la estructura de la máquina que permiten el adecuado posicionamiento del motor reductor.	

		
9. Poleas 	Elementos mecánicos acoplados al motor reductor y al rodamiento que permiten el movimiento del rodillo por correa una vez encendido el motor.	
10. Rodillo 	Elemento fabricado en caucho y acoplado a un eje metálico que permite el arrastre del envase plástico sin dañarlo.	

3.4.5 Etapa de sellado horizontal con corte

La etapa de sellado horizontal con corte es donde se realiza el sello horizontal del envase plástico cerrando este para que el producto pueda ser enfundado, una vez dosificado el producto, este mecanismo corta el film plástico permitiendo la salida de un producto enfundado. Los elementos que componen esta etapa se pueden observar en la Figura 46.

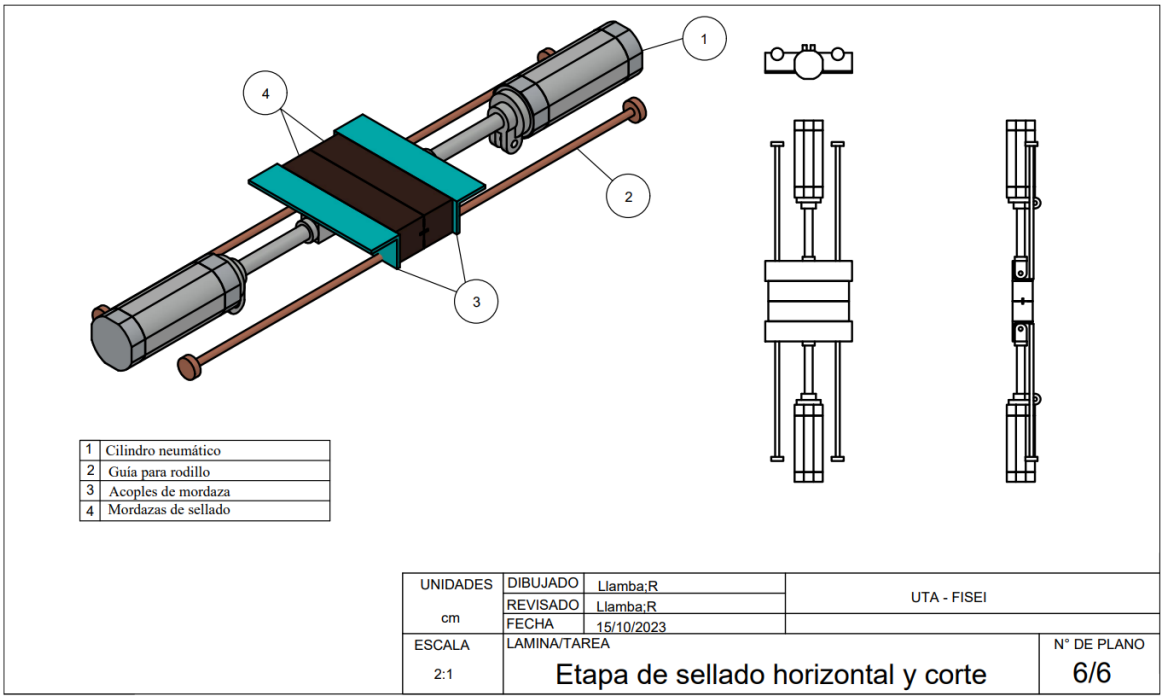
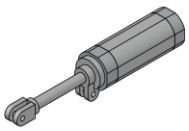
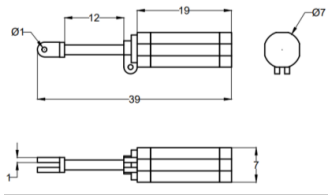
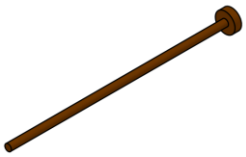
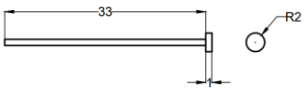
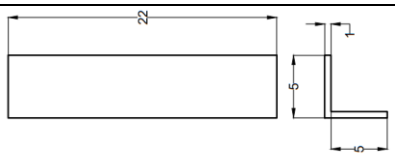
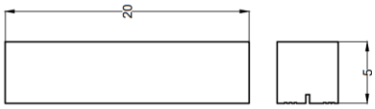


Figura 46. Sellado horizontal y corte

Los elementos que forman la etapa de sellado horizontal con corte se detallan en la Tabla 11, con sus respectivas medidas:

Tabla 11. Elementos que componen la etapa de sellado horizontal y corte

Elemento	Descripción	Dimensiones
1. Cilindro neumático 	El cilindro neumático es un elemento de avance y retroceso, en su vástago se acoplan las mordazas para sellado y corte. Estas se juntan para sellado horizontal y corte una vez se detecte la presencia del envase plástico.	
2. Guías para cilindro 	Son ejes de 1 cm de radio y 30 cm de longitud que se encuentran fijados sobre los soportes de la estructura en cada una de las etapas de enfundado donde se utiliza un cilindro neumático, cumple la función de garantizar la estabilidad del cilindro.	
3. Acople para mordaza 	Se forma un soporte tipo T con dos platinas de 21.5x5cm, ubicados en los bordes del vástago del cilindro neumático que realiza los sellados vertical y horizontal, cumplen la función de alojamiento del sellador de 22 x5 cm con la	

	niquelina que sella y corta la funda plástica.	
4. Mordaza de sellado 	Mordaza metálica de 20x5 cm de longitud fabricada para posicionar la niquelina de sellado.	

3.5 Diseño eléctrico del proceso automático de enfundado

El diseño eléctrico automatizado del sistema de enfundado se fundamentó en la norma IEC 1082-1, la cual establece los símbolos, gráficos y reglas numéricas o alfanuméricas que deben utilizarse para identificar los aparatos, diseñar los esquemas y realizar los equipos eléctricos. Utilizar esta norma reduce el riesgo de confusión y facilita el estudio, la puesta en servicio y el mantenimiento de las instalaciones o máquinas eléctricas.

En la Figura 47, se puede apreciar la conexión entre de las entradas y salidas del proceso al controlador PLC siemens S7 1200 1212 AC/DC/RLY.



Figura 47. Tablero de control del sistema de enfundado

El tablero de control se conectó en función del plano eléctrico que se observa en la Figura 48, desarrollado en el software Cadesimu.

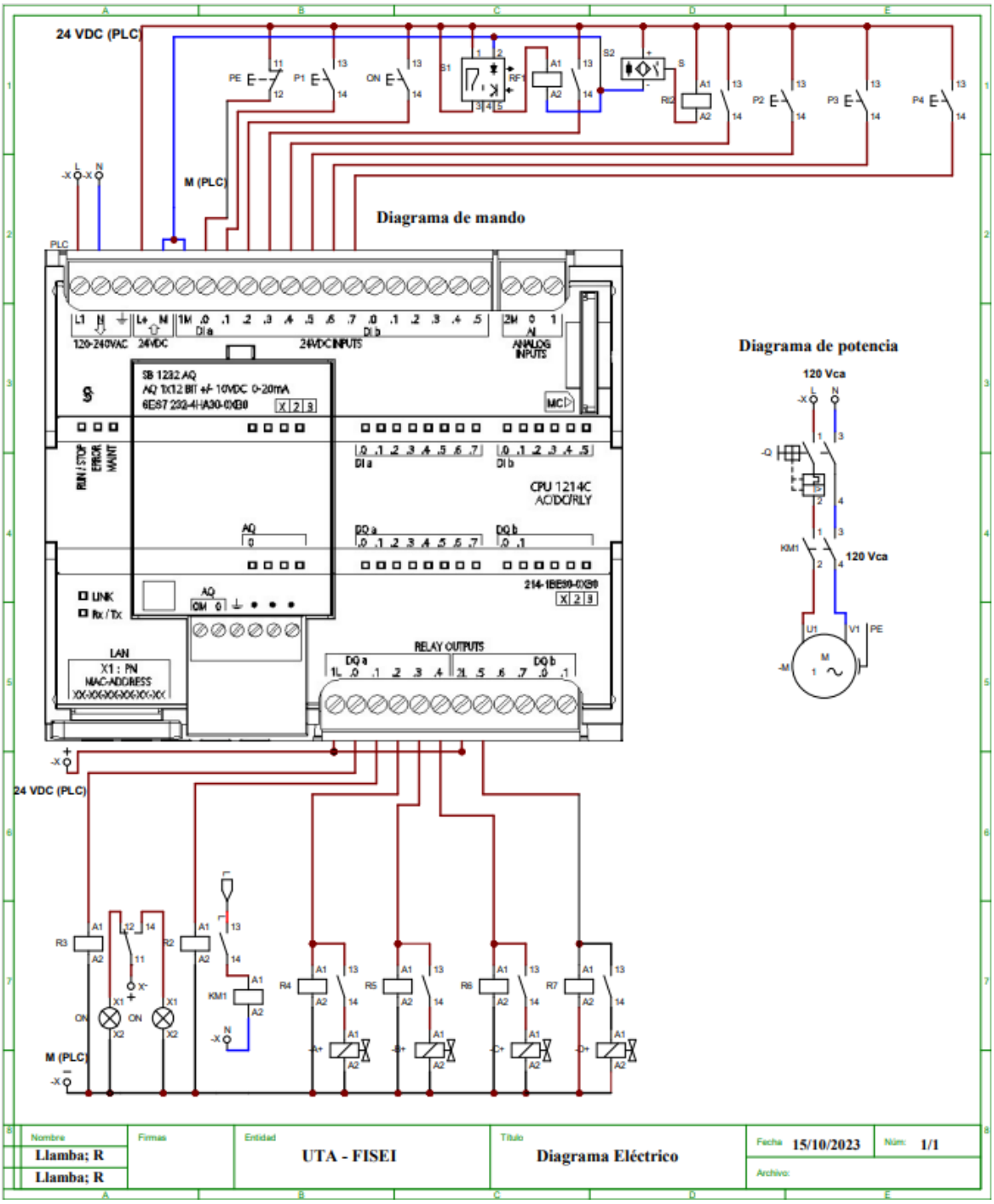


Figura 48. Diagrama eléctrico automático para enfundado de granos

3.5.1 Entradas y salidas del sistema

El proceso de enfundado de granos cuenta con 8 elementos de entrada entre sensores y pulsadores de accionamiento, los cuales respectivamente envían señales de salida por medio del controlador lógico programable hacia las 5 salidas controladas, las

mismas son: luces piloto, motor reductor monofásico y cuatro electroválvulas 5/2, para las distintas etapas del proceso de enfundado.

Dentro del esquema eléctrico de entradas y salidas del sistema de enfundado uno de los principales elementos es un módulo relé el cual permite controlar el flujo de corriente por los elementos mencionados, este al tener contactos normalmente abiertos y cerrados nos permite controlar de mejor manera los procesos automáticos. A continuación, en la Tabla 12, se detallan las principales características del módulo relé empleado en el esquema eléctrico del proceso de enfundado.

Tabla 12. Características del módulo relé

Características	**Detalle**
Imagen	
Tipo	Relevador 24 VDC
Rango de voltaje AC	240 V a 7A 125V a 10 A
Corriente nominal en bobina	15 mA
Voltaje en DC del interruptor	28V a 10 A
Voltaje para activación de la bobina	24VDC
Dimensiones	19x15x15 mm
Peso	10g
Temperatura de operación	25 a 70 ºC

Las entradas y salidas del sistema de control de enfundado se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13. Entradas y salidas del sistema de enfundado

Entradas		**Salidas**	
I0.0	Botón de emergencia	Q0.0	Pilotos del sistema (ON, OFF)
I0.1	Botón marcha	Q0.1	Motor de rodillo fijo
I0.2	Botón abrir tolva	Q0.2	Cilindro con rodillo de arrastre
I0.3	Sensor fotoeléctrico	Q0.3	Cilindro sellador vertical
I0.4	Sensor inductivo	Q0.4	Cilindro sellador horizontal y corte
I0.5	Botón sellador vertical	Q0.5	Cilindro para apertura de tolva
I0.6	Botón arrastre de funda con rodillo		
I0.7	Botón sello horizontal y corte		

3.5.2 Sistema eléctrico de entradas

Las entradas del sistema se encuentran alimentadas con los 24 VDC de la salida digital del PLC como se muestra en la Figura 49.

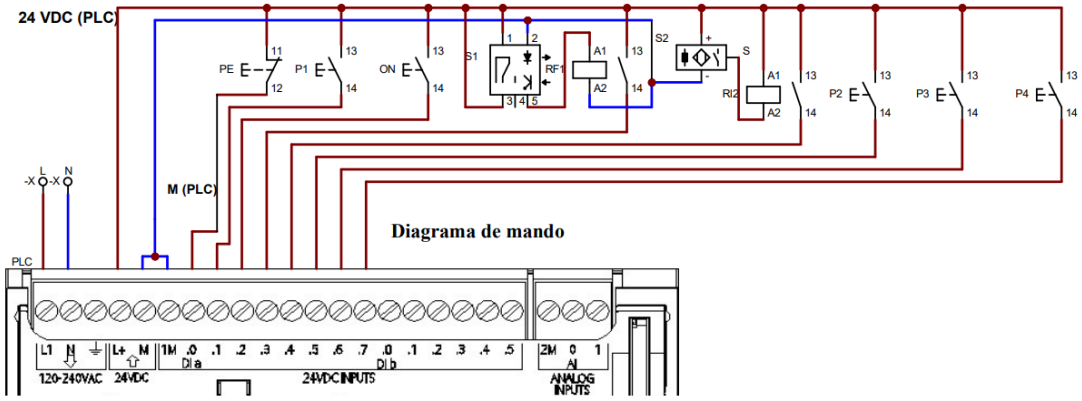


Figura 49 . Conexión física entradas del sistema de enfundado de granos

Dentro de este se encuentran dos tipos de sensores:

a. Sensor inductivo

Es un sensor ferromagnético omrom del tipo NPN de 3 hilos, la señal que envié el sensor activa la bobina de un módulo relé de 24 VDC permitiendo el paso de corriente hacia las entradas digitales del controlador (PLC).

En la Tabla 14, se muestra las principales características del sensor inductivo empleado en la etapa de sellado vertical del sistema de enfundado de granos.

Tabla 14. Características sensor inductivo OMROM E2E X5MY 2M.

Características	Detalle
Imagen	
Tamaño/Modelo	M12/ E2E-X5MY
Distancia de censado	5 mm ±10%
Tensión de alimentación	24VDC 50/60HZ
Corriente de salida	5-200 mA
Salida	Tipo NPN

La conexión eléctrica requerida por un sensor NPN inductivo de 3 hilos se muestra en la Figura 50.

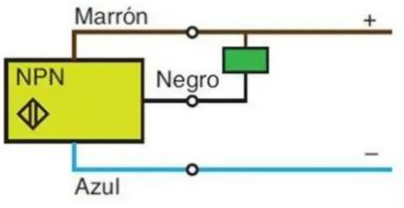


Figura 50. Conexión sensor sor tipo NPN

b. Sensor fotoeléctrico de proximidad

Es un sensor de proximidad fotoeléctrico de 4 hilos, donde el transmisor y receptor están separados, cuando el grano enfundado atraviese entre estos, se interrumpe la luz que hará que se active el contacto abierto de un módulo relé de 24 VDC permitiendo el paso de corriente hacia las entradas digitales del controlador PLC.

La conexión eléctrica requerida por un sensor NPN de proximidad fotoeléctrico de 4 hilos es:

- Marrón (BN): alimentación (+)
- Negro (BK): NPN normalmente abierto (NO) (detección: GND, reposo: VCC)
- Blanco (WH): NPN normalmente cerrado (NC) (detección: VCC, reposo: GND)
- Azul (BU): alimentación (-)

En la Tabla 15, se observa las principales características del sensor de proximidad fotoeléctrico usado para censar la salida de productos en el proceso de enfundado.

Tabla 15. Características sensor de proximidad fotoeléctrico REFLEX E3F-R2N12.

Características	Detalle
Imagen	
Modelo	E3F-R2N12
Voltaje de Operación	6 - 36V DC
Corriente de trabajo	20mA máx.
Corriente de salida (carga	300mA máx.
Rango de detección	2 metros (máx.)
Fuente de luz	Led infrarrojo
Salida	Tipo NPN normalmente abierto y cerrado (NO+NC)
Dimensiones	D18mm*L75mm
Temperatura de trabajo	-25 a 70°C
Peso	90 gr.

3.5.3 Sistema eléctrico de salidas

En la Figura 51, se muestra la conexión física de las salidas del sistema estás alimentadas con una línea de 24 VDC proporcionado por el PLC, son 5 salidas de tipo RLY que permitirán el accionamiento de:

- Luces piloto (on/off)
- Motor reductor monofásico
- 4 cilindros neumáticos 5/2 (5 vías dos posiciones)

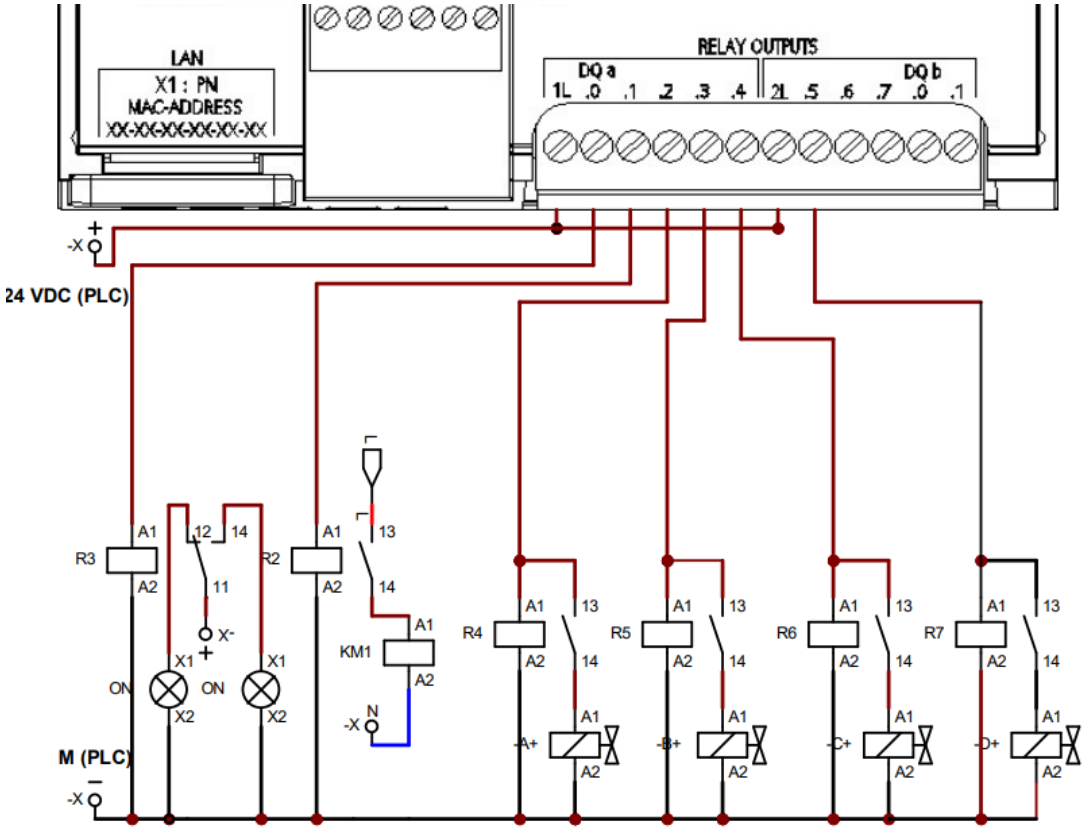


Figura 51. Conexión física de salidas del sistema de enfundado de granos

a. Luces piloto

Son salidas indicadoras que muestran el estado de funcionamiento del sistema, las luces son de 24 VDC, y se usó un módulo relé en el contacto normalmente abierto se conecta el piloto verde que indicara que el sistema se encuentra activado, y en el contacto normalmente cerrado se conecta el piloto rojo que indicara que el sistema se encuentra detenido.

b. Motor reductor monofásico

El motor es alimentado con 120 VCA, y la salida del PLC proporciona 24 VDC, por lo cual se usa un módulo relé de 24 VDC al cual es energizado con la salida y la masa del PLC, al común del módulo relé ingresa la línea de 120 VCA y en el contacto normalmente abierto se conecta la bobina del contactor A1 de la salida A2 se va al neutro del sistema.

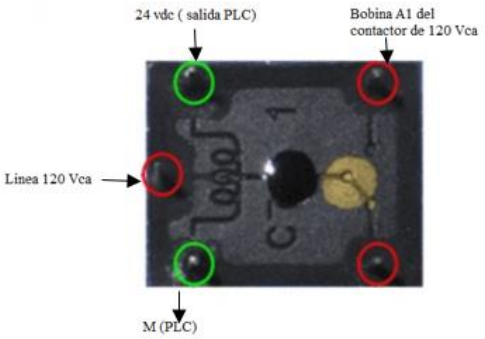


Figura 52. Conexión eléctrica motor reductor y módulo relé

c. Electroválvula

La electroválvula es una 5/2 (5 vías dos posiciones) es energizó con 24 VDC, sus dos posiciones permiten controlar el flujo de aire para expansión y retroceso del cilindro neumático.

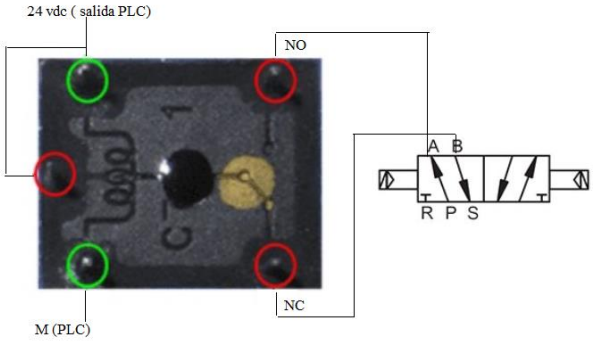


Figura 53. Conexión eléctrica electroválvula 5/2 y modulo relé

Las principales características de la electroválvula empleada en cada una de las etapas del sistema de enfundado se detallan a continuación en la Tabla 16.

Tabla 16. Características electroválvula neumática

Caractersitica	**Detalle**
Imagen	
Modelo	Electroválvula Neumática 5/2 VÍAS DOBLE SOLENOIDE - 24 VDC LED (SHAKO)

Material del cuerpo	Alineación de aluminio
Fluido	Aire comprimido
Voltaje de alimentación	24VDC
Rango de operación	2 a 8 kgf/cm2
Presión de operación	9.9 kgf/cm2
Temperatura ambiente	-10 a 50ºC

3.6 Control de temperatura de sellado

En la Figura 54, se muestra el tablero de control del sistema de sellado vertical y horizontal con corte, el cual está formado por dos transformadores de amperaje para calentar las niquelinas con sus respectivos reguladores, los cuales permiten controlar el amperaje y obtener distintas temperaturas de sellado.

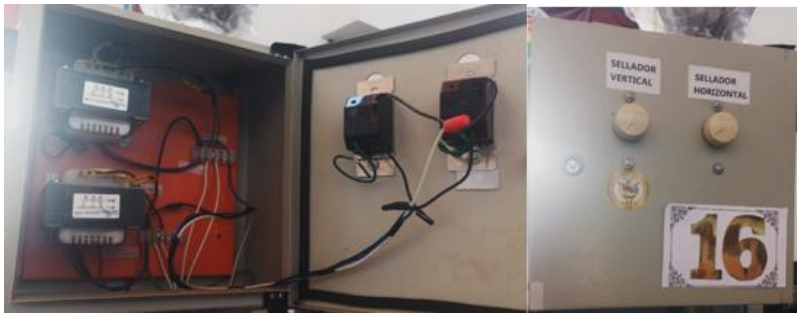


Figura 54. Tablero de control de temperatura de los selladores

Las características del transformador se detallan en la Tabla 17.

Tabla 17. Características del transformador

Característica	Detalle
Imagen	
Voltaje de alimentación	120 VCA
Corriente de alimentación	50 mA
Voltaje de Salida	0 a 12 VCA
Corriente de salida	0 a 10 A
Dimensiones	40x60x60 mm

El transformador es alimentado desde una fuente monofásica y la salida del bobinado del transformador se conectan a la niquelina como se muestra en la Figura 55.

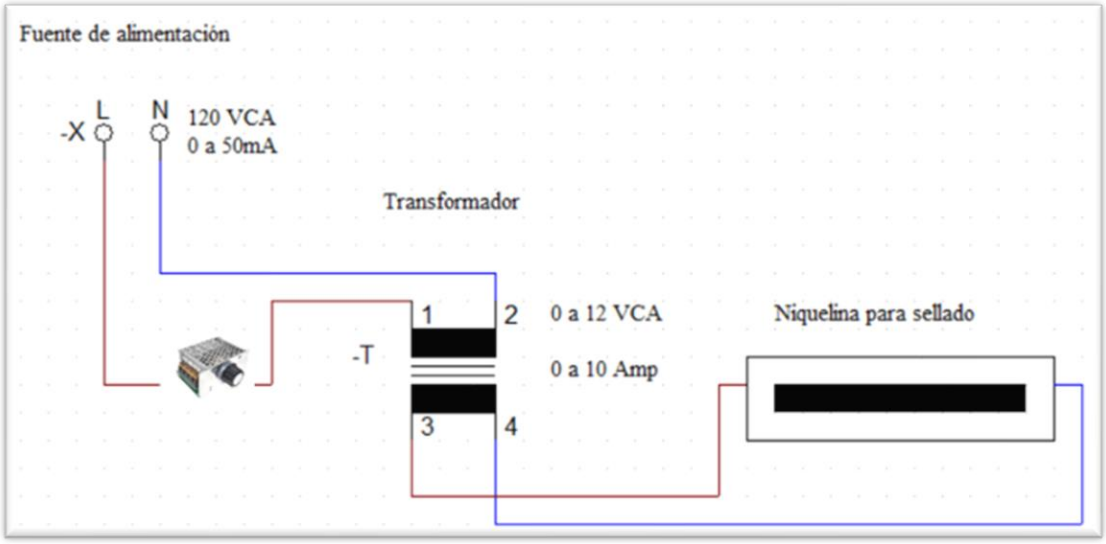


Figura 55. Control de temperatura de sellado.

3.7 Sistema neumático

En la Figura 56, se muestra la línea neumática para el sistema de enfundado de granos este cuenta con 4 cilindros neumáticos de la marca festo, que se acciona y contrae por medio del paso de aire de las electroválvulas 5/2 , estas conectadas por medio de mangueras neumáticas de 6 mm, la fuente de alimentación de este sistema con el cual se desarrolló las pruebas de funcionamiento del sistema es un compresor agregar marca SPINN. La instalación del sistema en los Talleres Tecnológicos de la FISEI cuenta con su línea de alimentación para sistemas neumáticos.

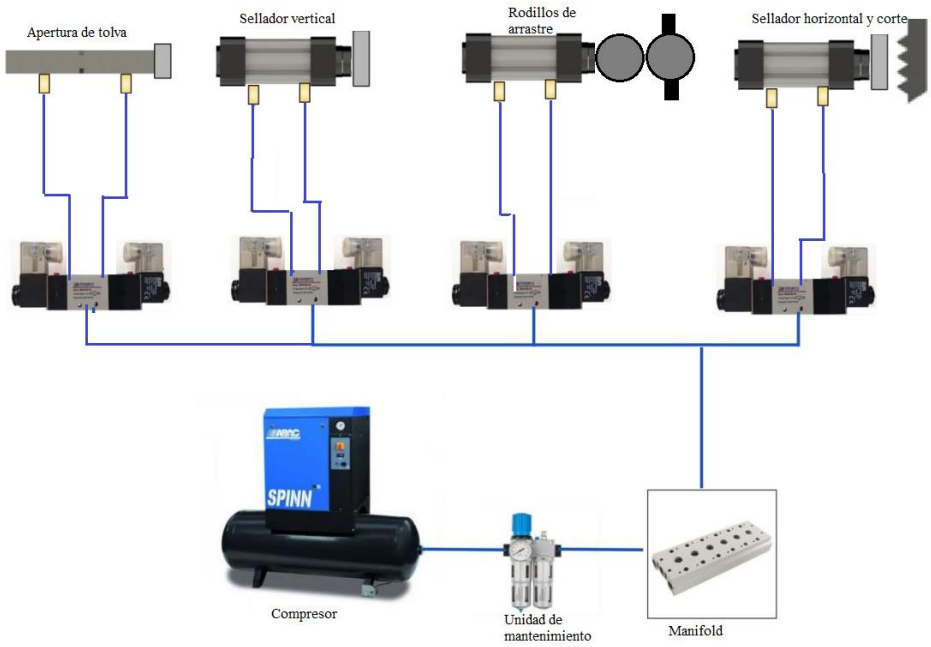


Figura 56. Sistema neumático de para el enfundado de granos.

3.8 Puesta en marcha del sistema de enfundado

La puesta en marcha del proceso de enfundado se lo hace con un controlador siemens S7 1200 AC/DC/RLY 6ES7 212-1BE40-0XB0 que tiene las características presentes en la Tabla 18.

Se programa cada una de las etapas del proceso siendo estas: dosificado, arrastre, sellado vertical y sellado horizontal con corte, usando el software de programación de controladores siemens TIA portal.

Tabla 18. Características controlador PLC

Imagen	
Tipo de producto	CPU 1212C AC/DC/Relais
Versión firmware	V4.4
Tensión de alimentación	85 a 264 VCA
Frecuencia de red	47 a 63 Hz
Memoria programada de datos	75 KB

Entradas integradas	8 entradas digitales de 24 VDC, 2 entradas analógicas de 0 a 10 V
Salidas integradas	6 salidas digitales tipo relé 2A
Dimensiones	900x100x75 mm
Temperaturas de funcionamiento	-20 °C a 60 °C

3.8.1 Configuraciones del controlador

Para la puesta en marcha del sistema se agregó un controlador lógico programable S7 1200 1212 AC/DC/RLY, módulo 6ES7 212-1BE40-0XB0 la versión 4.1 en el software TIA portal como se muestra en la Figura 57.

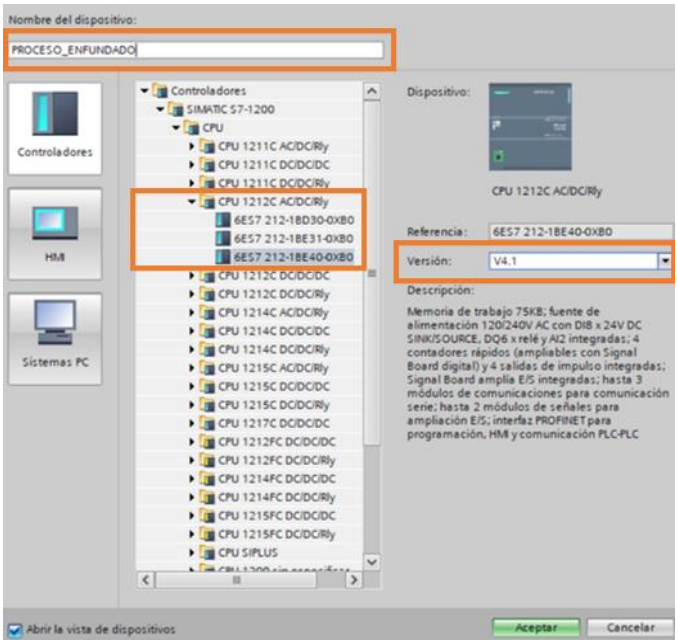


Figura 57. Controlador lógico programable del sistema.

Como se muestra en la Figura 58, dentro de las propiedades generales del controlador se configuró las direcciones Ethernet para el controlador del proceso esta tendrá una subred de tipo PN/IE_1 con dirección IP 192.168.0.6, mascará de subred 255.255.255.0, debido a que el sistema requiere crear una red de tipo local para comunicarse con otros dispositivos como la base de datos en la placa arduino se seleccionó la función de usar router y se establece con dirección IP 192.168.0.3

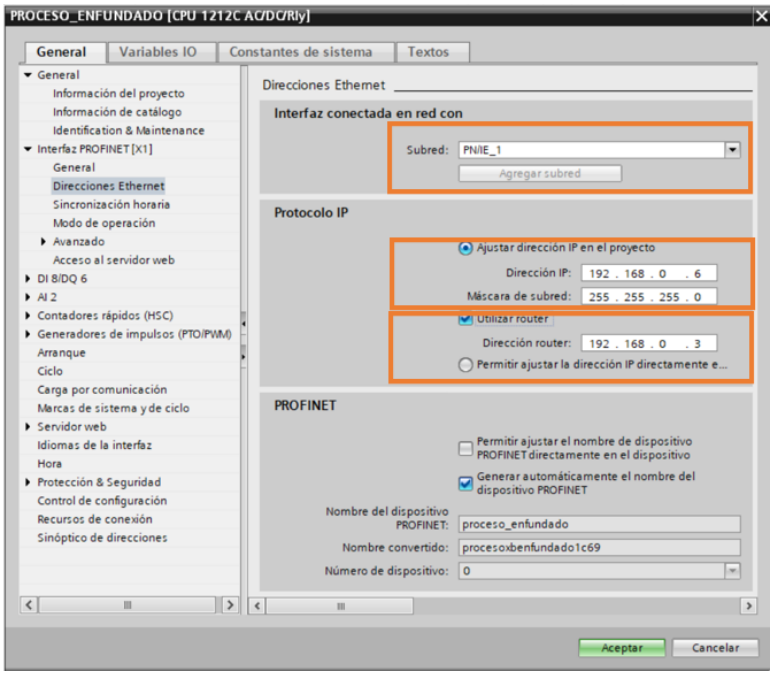


Figura 58. Direcciones Ethernet del controlador

En las propiedades generales dentro de protección y seguridad en los mecanismos de conexión debemos permitir el acceso vía comunicación PUT/GET con el interlocutor como se muestra en la Figura 59.

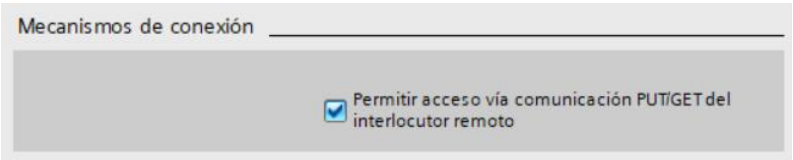


Figura 59. Comunicación PUT/GET con el interlocutor.

3.8.2 Variables del proceso de enfundado

El proceso de enfundado es un proceso automático temporizado en cada uno de sus 4 etapas; dosificación, sellado vertical, arrastre y sellado horizontal con corte, para esto el proceso cuenta con diferentes tipos de variables que intervienen en el proceso. Estas variables se detallan a continuación:

a. Variables de entrada

Son llamadas así las señales o datos que el controlador recibe del sistema de enfundado, las cuales permiten monitorizar y controlar el estado de los dispositivos

que forman el proceso. En este caso se declaran las variables que se detalla en la Figura 60.



	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comentario
1	BOTON EMERGENCIA	Bool	%I0.0	☐	☑	☑	☑	
2	BOTON INICIO	Bool	%I0.1	☐	☑	☑	☑	
3	SENSOR FOTOELECTRICO	Bool	%I0.4	☐	☑	☑	☑	
4	SENSOR INDUCTIVO	Bool	%I0.3	☐	☑	☑	☑	
5	Boton_Arrastre	Bool	%I0.6	☐	☑	☑	☑	
6	Boton_sello_vertical	Bool	%I0.5	☐	☑	☑	☑	
7	Boton_SHC	Bool	%I0.7	☐	☑	☑	☑	
8	Boton_dosificar	Bool	%I0.2	☐	☑	☑	☑	

Figura 60. Variables de entrada del sistema de enfundado.

b. Variables de salida

Son llamadas así las señales o datos que el controlador envía al sistema de enfundado, estas permiten controlar el sistema en función de las decisiones lógicas tomadas en el entorno de programación. Las variables declaradas se detallan en la Figura 61.



	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comenta
1	PILOTOS DEL SISTEMA	Bool	%Q0.0	☐	☑	☑	☑	
2	APERTURA TOLVA	Bool	%Q0.5	☐	☑	☑	☑	
3	MOTOR RODILLOS	Bool	%Q0.1	☐	☑	☑	☑	
4	RODILLO DE ARRASTRE	Bool	%Q0.2	☐	☑	☑	☑	
5	SELLADO VERTICAL	Bool	%Q0.3	☐	☑	☑	☑	
6	SELLADO HORIZONTAL	Bool	%Q0.4	☐	☑	☑	☑	

Figura 61. Variables de salida del sistema de enfundado.

c. Marcas del sistema

Las marcas del sistema son variables internas usadas para almacenar el estado, un resultado lógico o una condición temporal durante la ejecución del programa, no se asocian como tal a una entrada o salida física, pero son usadas para gestionar la lógica de control del proceso, estas marcas pueden ser de tipo booleana, temporal o contadora. Las variables de marca del proceso de enfundado se detallan a continuación en la Figura 62.

ENFUNDADORA_FISEI ▸ PROCESO_ENFUNDADO [CPU 1212C AC/DC/Rly] ▸ Variables PLC ▸ MARCAS_SISTEMA [31]

MARCAS_SISTEMA

	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comentario
2	Tem_SHC	Int	%MW112	☐	☑	☑	☑	
3	Detener proceso_lote cumplido	Bool	%M500.0	☐	☑	☑	☑	
4	STOP_HMI	Bool	%M30.2	☐	☑	☑	☑	
5	START_HMI	Bool	%M30.1	☐	☑	☑	☑	
6	SISTEMA ACTIVADO	Bool	%M0.0	☐	☑	☑	☑	
7	Funda_llena	Bool	%M400.0	☐	☑	☑	☑	
8	Posicion_arrastre	Bool	%M4.0	☐	☑	☑	☑	
9	Sellado_verticalmente	Bool	%M400.1	☐	☑	☑	☑	
10	Sellado_h_cortado	Bool	%M400.3	☐	☑	☑	☑	
11	reset_hmi	Bool	%M30.3	☐	☑	☑	☑	
12	Fundas_grano	Int	%QW30	☐	☑	☑	☑	
13	SV_manual	Bool	%M20.0	☐	☑	☑	☑	
14	arrastre_manual	Bool	%M20.1	☐	☑	☑	☑	
15	shc_marca_manual	Bool	%M20.2	☐	☑	☑	☑	
16	arrastre_hmi	Bool	%M50.2	☐	☑	☑	☑	
17	SV_hmi	Bool	%M50.1	☐	☑	☑	☑	
18	SHC_hmi	Bool	%M50.3	☐	☑	☑	☑	
19	dosifica_hmi	Bool	%M50.4	☐	☑	☑	☑	
20	Tiempo_dosificado	Bool	%M300.0	☐	☑	☑	☑	
21	Time_dosificado	Time	%MD10	☐	☑	☑	☑	
22	Tiempo_arrastre	Bool	%M300.2	☐	☑	☑	☑	
23	Time_arrastre	Time	%MD14	☐	☑	☑	☑	
24	Time_SV	Time	%MD18	☐	☑	☑	☑	
25	Tiempo_SHC	Bool	%M300.3	☐	☑	☑	☑	
26	Time_SHC	Time	%MD22	☐	☑	☑	☑	
27	T_SHC	Word	%QW134	☐	☑	☑	☑	
28	T_A	Word	%QW38	☐	☑	☑	☑	
29	T_D	Word	%QW138	☐	☑	☑	☑	
30	T_SV	Word	%QW130	☐	☑	☑	☑	
31	Tiempo_S_vertical	Bool	%M300.1	☐	☑	☑	☑	

Figura 62. Marcas del sistema de enfundado.

3.8.3 Programación del bloque principal del sistema

La programación del bloque principal del sistema de enfundado está compuesta de 9 segmentos programados en lenguaje KOP los cuales se detallan en la Figura 63.

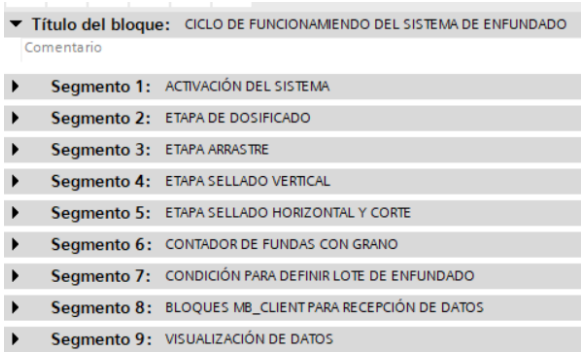


Figura 63. Segmentos del bloque principal del sistema de enfundado

Estos segmentos se detallan a continuación:

a. Segmento 1: activación del sistema

La primera línea del segmento 1, que se observa en la Figura 64, activa el sistema de enfundado, marca M0.0 con el botón I0.1(botón inicio), los pilotos Q0.0 muestran la actividad del sistema, su desactivación se lo realiza con del botón I0.0 (botón de parada de emergencia).

Una línea en paralelo al botón de inicio contiene una marca para activación del sistema M30.1(start hmi) y en serie a la parada de emergencia se encuentra la marca M30.2(stop hmi), estas marcas permiten la activación y desactivación por medio del sistema desde el diseño SCADA realizado en la plataforma ignition.

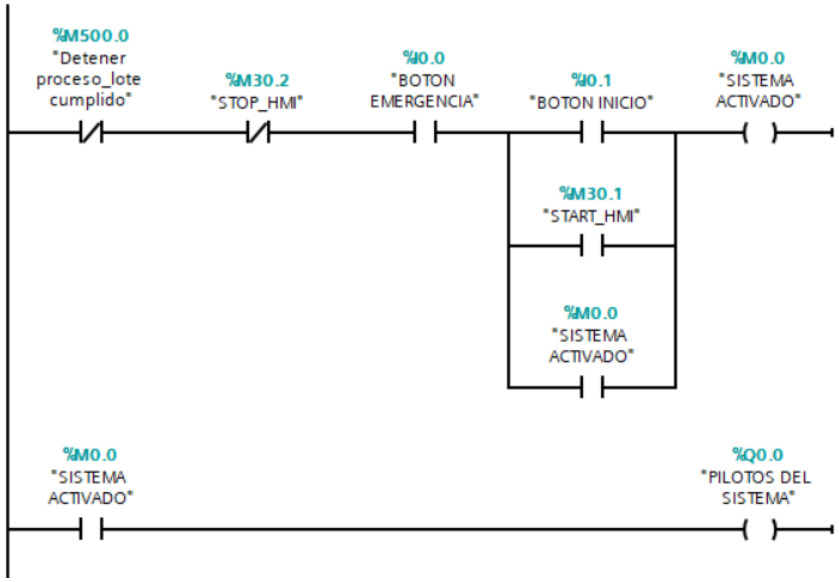


Figura 64. Segmento 1, activación del sistema

Como parte del segmento 1 se observa en la Figura 65, la condición inicial de la etapa de dosificado la cual debe estar activada, salida Q0.5 (apertura de tolva) y desactivarse con el sistema activado y cuando reciba una señal de entrada del I0.4 (sensor fotoeléctrico) o de la marca m300.0 (tiempo de dosificado).

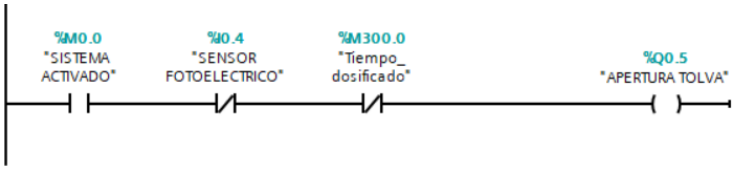


Figura 65. Condición inicial de dosificado

b. Segmento 2: etapa de dosificado

En la primera línea del segmento 2, se observa en la Figura 66, la activación de una marca M300.0 (tiempo dosificado) que activa un temporizador (TEM_1) durante 1 segundo, una vez pasado este tiempo una marca M400.0 (funda llena) desactiva la marca para el dosificado del producto.

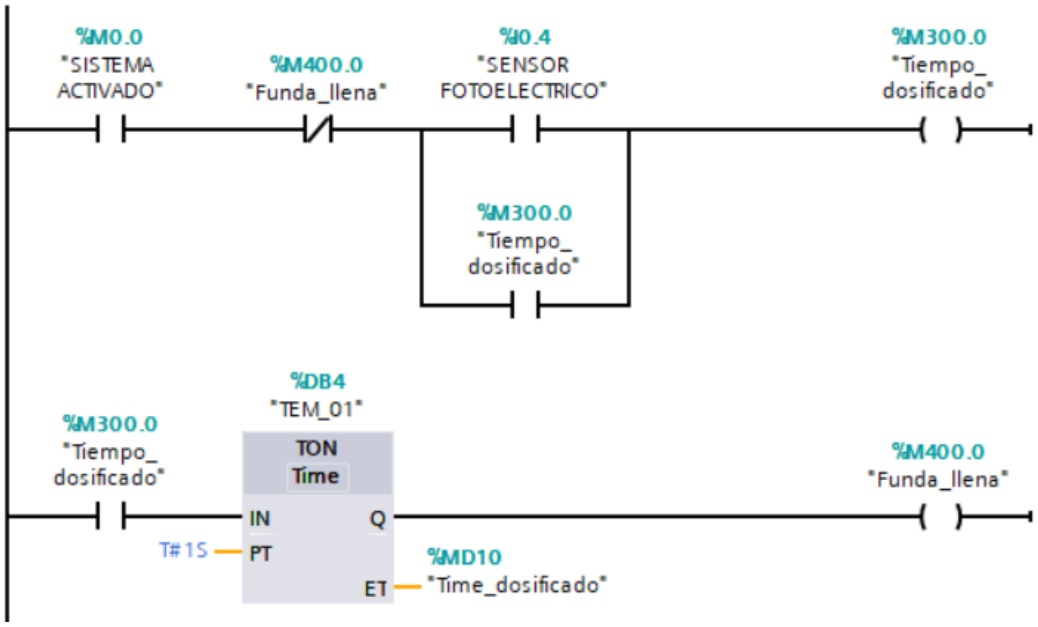


Figura 66. Segmento 2, etapa de dosificado del sistema

Como parte del segmento 2 se observa en la Figura 67, un bloque divisor que permite hacer la conversión de milisegundos a segundos en el tiempo de dosificado que se observa en el sistema SCADA por medio de la variable QW138 (T_D).

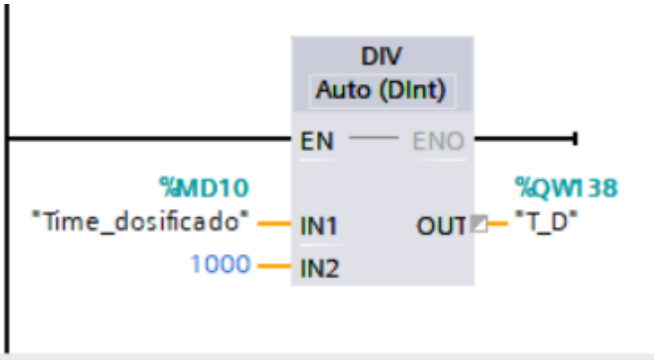


Figura 67. Bloque divisor de tiempo de dosificado

c. Segmento 3: etapa de arrastre

En las líneas 1,2,3 y 4 del segmento 3 se observa en la Figura 68, se activa una marca M300.2 (tiempo de arrastre) con un temporizador (TEM_02) que encienden las salidas Q0.1(motor rodillos) y Q0.2 (Cilindro rodillos) durante 2 segundos, trascurrido este tiempo una marca M4.0 (posición de arrastre) desactiva las salidas.

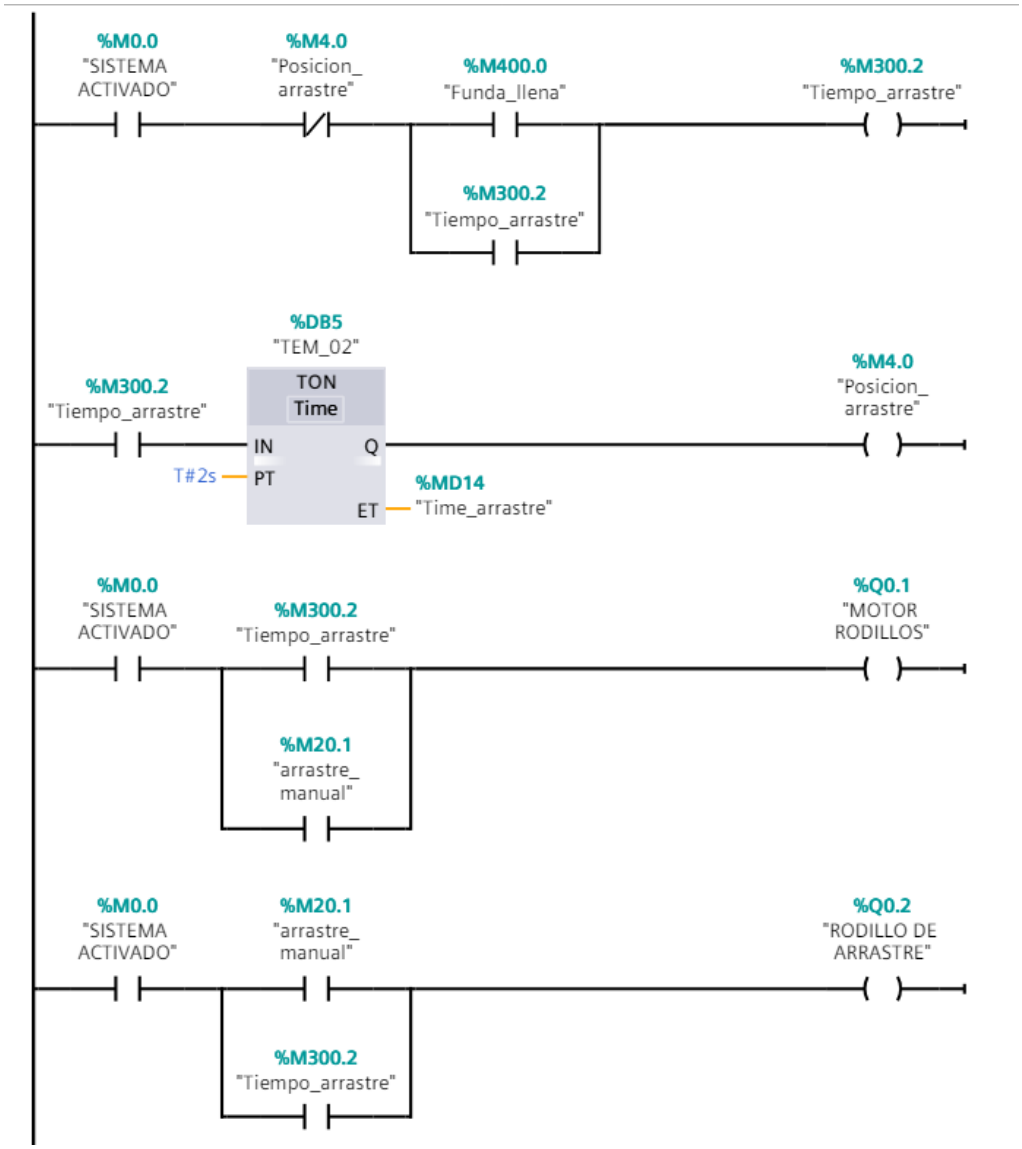


Figura 68. Segmento 3, etapa de arrastre.

En la quinta línea del segmento 3, se observa en la Figura 69, la activación de forma manual del arrastre por medio del botón arrastre (I0.6), con una marca M20.1(arrastre manual) se activa durante 2 segundos el arrastre del envase plástico por medio de las salidas Q0.1 y Q0.2, pasado el tiempo las salidas mencionadas se desactivan. En

paralelo al botón manual de arrastre se encuentra una marca M50.2 (arrastre hmi) la cual permite la activación de esta etapa desde el sistema SCADA.

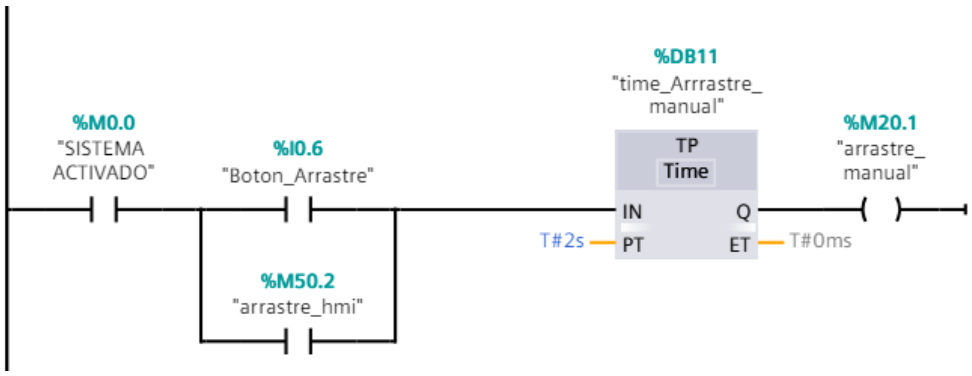


Figura 69. Activación manual del arrastre

Como parte del segmento 3 se observa en la Figura 70, un bloque divisor que permite hacer la conversión de milisegundos a segundos del tiempo de arrastre que se observa en el sistema SCADA por medio de la variable QW38 (T_A).

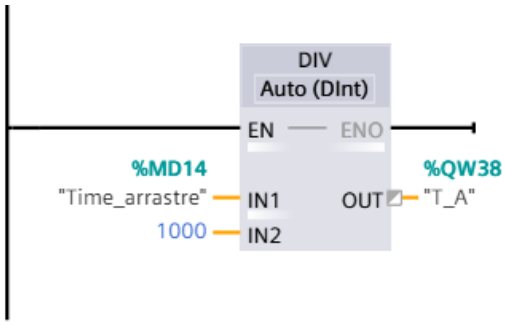


Figura 70. Bloque divisor de tiempo de arrastre

d. Segmento 4: etapa de sellado vertical

En el segmento 4, en las líneas 1,2 y 3 se observa en la Figura 71, la activación de una marca M300.1(Tiempo de sellado vertical), con un temporizador (TEM_03) por un tiempo de 7 segundos en los cuales se mantiene activado la salida Q0.3 (Sellado vertical), pasado el tiempo una marca M400.1(sellado verticalmente) desactiva la salida mencionada.

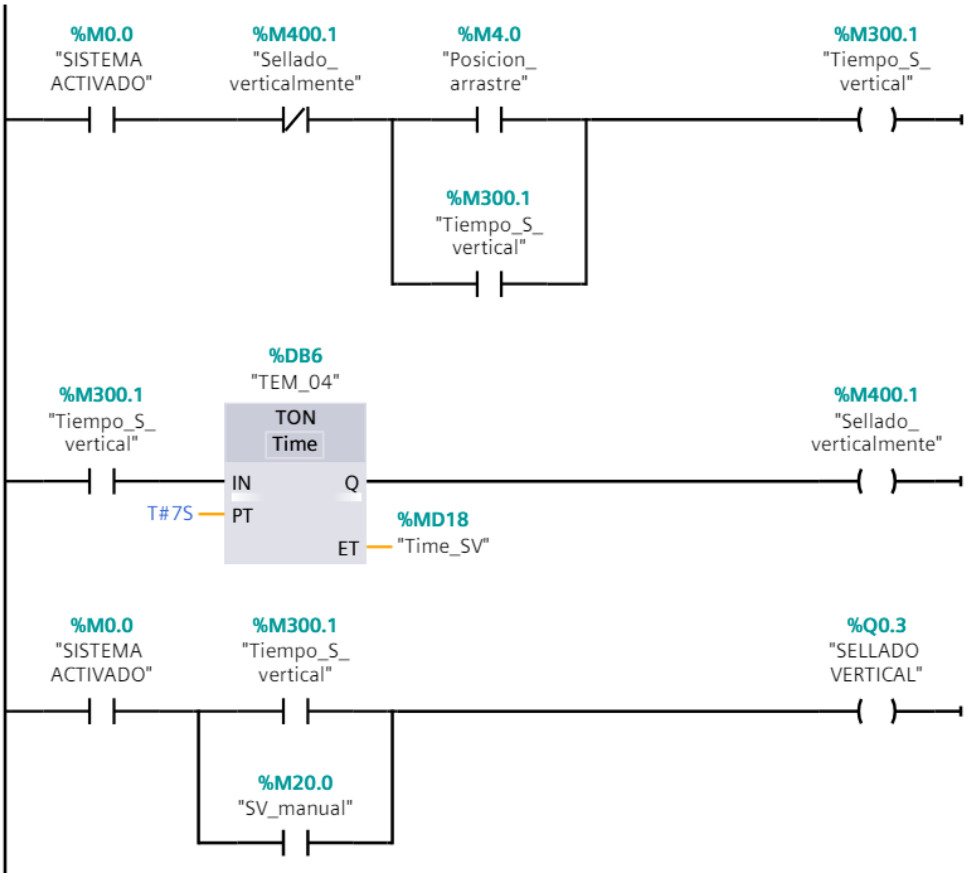


Figura 71. Segmento 4, etapa de sellado vertical

En la línea del segmento 4, se muestra en la Figura 72, la activación de forma manual el sellado vertical por medio del botón I0.5 (Botón sello vertical) está activa una marca M20.0 (SV manual) por un tiempo de 7 segundos, paralelo a este botón manual está una marca M50.1(SV hmi) para activación manual de esta etapa desde el sistema SCADA.

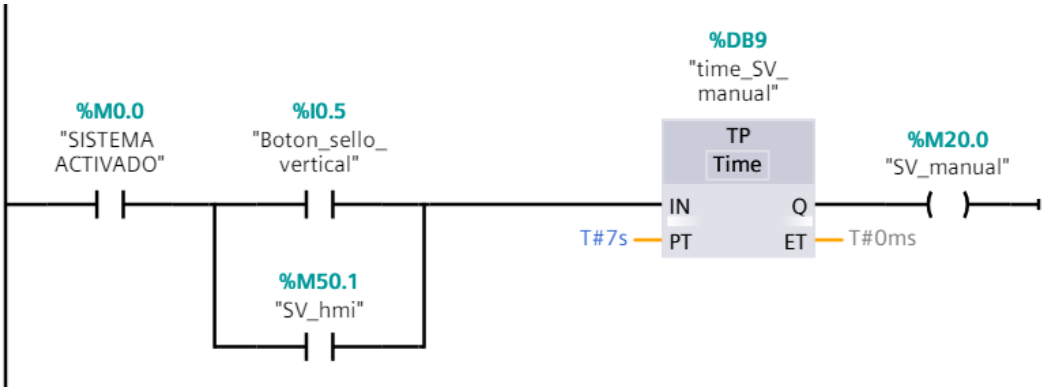


Figura 72. Activación manual del sellador vertical

Como parte del segmento 4 se muestra en la Figura 73, un bloque divisor que permite la conversión de milisegundos a segundos del tiempo de sellado vertical que se observa en el sistema SCADA por medio de la variable QW130 (T_SV).

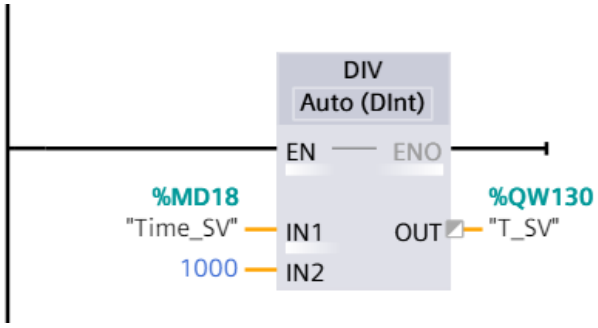


Figura 73. Bloque divisor de tiempo de sellado vertical

e. Segmento 5: etapa de sellado horizontal con corte

En las líneas 1,2 y 3 del segmento 5 que se muestra en la Figura 74, una marca M300.3 (Tiempo SHC) activa la salida Q0.4 (Sellado horizontal) con un temporizador (TEM_03) durante 10 segundos, pasado este tiempo una marca M400.3 (Sellado h con corte) desactiva la salida mencionada.

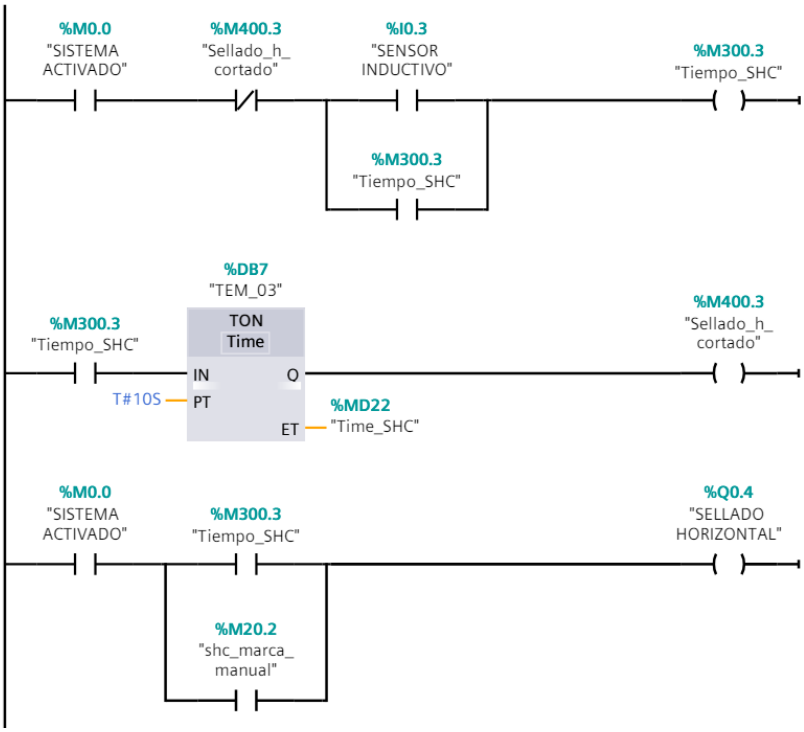


Figura 74. Segmento 5, etapa de sellado horizontal con corte

En la línea del segmento 5 se muestra en la Figura 75, una marca M20.2 (shc_marca_manual) activa durante un tiempo de 10 segundos una vez pulsado el botón manual de SHC (I0.7), en paralelo al botón se encuentra una marca M50.3 (SHC hmi) para la activación manual de la etapa desde el sistema SCADA.

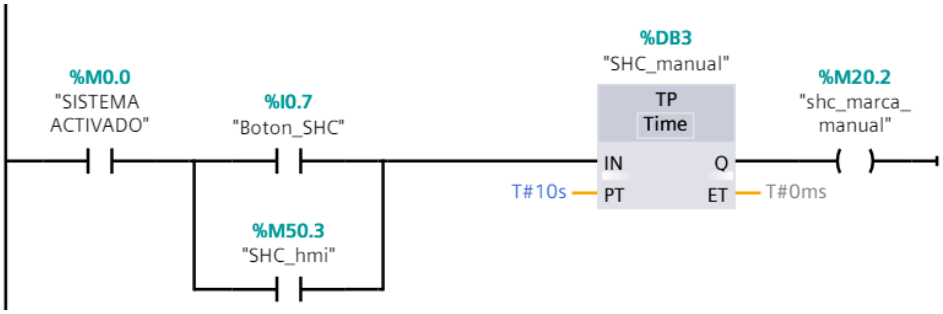


Figura 75. Activación manual del sellador horizontal con corte

Dentro del segmento 5 se observa en la Figura 76, un bloque divisor permite hacer la conversión de milisegundos a segundos del tiempo de sellado horizontal que se observa en el sistema SCADA por medio de la variable QW134 (T_SHC).

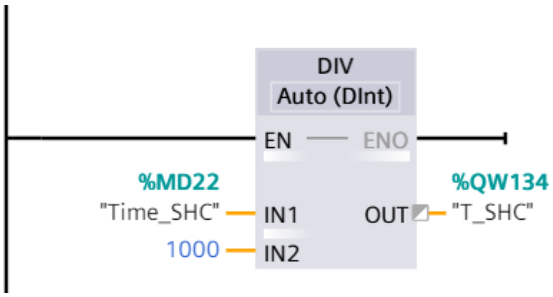


Figura 76. Bloque divisor de tiempo de sellado horizontal

f. Segmento 6: Contador de productos salientes

En el segmento 6 se observa en la Figura 77, un contador de tipo ascendente CTU lleva el conteo de los productos salientes en la salida del proceso por medio de una señal que le envía el I0.4 (Sensor fotoeléctrico), este contador se resetea a 0 por medio de una marca M30.3 (reset hmi) vinculado a un botón dentro del sistema SCADA, la cantidad de productos se observa en un Display del sistema SCADA por medio de la variable QW30 (Fundas_grano).

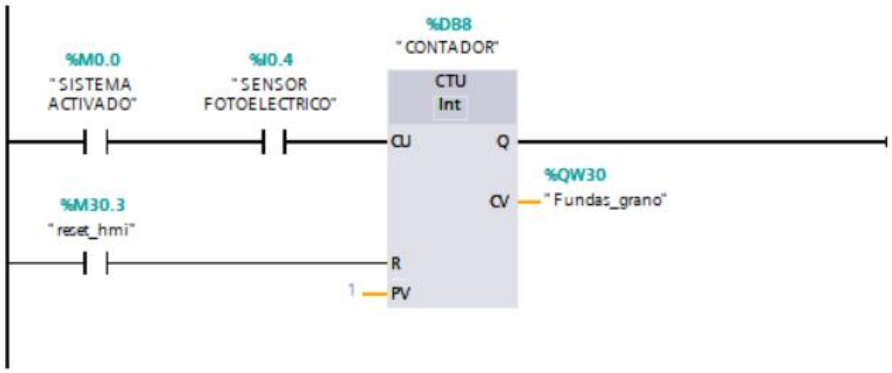


Figura 77. Segmento 6, Contador de productos salientes.

g. Segmento 7: Definición lote de producción

En el segmento 7, se muestra en la Figura 78 una condición para detener el proceso una vez cumplido el lote de producción establecido, la marca M500.0 (detener proceso por lote cumplido), se activa cuando la variable del contador llega a la cantidad establecida en el comparador de tipo entero QW30 (Fundas_grano).



Figura 78. Condición para detener el proceso.

h. Segmento 8: Bloques MBclient para recepción de datos de temperatura

En el segmento 8, se muestra los bloques MB client para recepción de los datos de temperatura del sellador vertical y horizontal enviados desde la base datos placa arduino uno. La configuración de los parámetros de este bloque se detalla de mejor manera en la Tabla 19.

Tabla 19. Configuración del bloque MB_CLIENT

Parámetro	Descripción
REQ	Hace referencia a la orden de comunicación con el servidor Modbus, es un parámetro que se controla por nivel, es por esto que cuando (REQ=TRUE) la instrucción enviara ordenes de comunicación.
DISCONNECT	Permite controlar el establecimiento de la conexión y desconexión con el servidor modbus.

	0= establece la conexión con la dirección IP y numero de puerto especificado en el bloque. 1=Deshace la conexión evitando que se ejecute alguna de las otras funciones.
CONNECT_ID	A cada instancia del bloque MB_CLIENT se le debe asignar un ID univoca que identifique la conexión.
IP_OCTET_1_2_3_4	Los IP_OCTET hacen referencia al primer, segundo, tercer y cuarto octeto de la dirección IP del servidor modbus es decir la placa arduino quien está enviando los datos de temperatura con dirección 192.168.0.8
IP_PORT	Es el número IP y puerto del servidor con el cual se establece la conexión y se comunica mediante el protocolo por defecto se trabaja con el puerto 502.
MB_MODE	Permite seleccionar el modo de consulta con el servidor sea esta lectura, escritura o diagnóstico. 0=lectura 1=escritura y diagnostico
MB_DATA_ADDR	Es la dirección inicial de los datos a los que se accede el bloque MB_CLIENT, su rango va desde 300001 a 39999, el valor a especificar es de 300001.
MB_DATA_LEN	Es la longitud de los datos o número de bits o palabras, su rango va de 1 a 125, el valor por especificar es igual a 1 ya que es la cantidad de datos de temperatura que se desea leer. En conjunto con el valor especificado anteriormente en el MB_DATA_ADDR nos permite leer un registro de entrada en la dirección remota.
MB_DATA_PTR	Hace referencia al puntero de registro de datos modbus, este registro es un búfer para los datos recibidos desde el servidor modbus en nuestro caso la placa arduino. El puntero remite a un bloque de datos global con acceso estándar.
DONE	Es un parámetro de salida que tiene el valor de 1 una vez que se hay ejecutado sin errores la orden del modbus.
BUSY	Parámetro que presenta un valor de 0 cuando no se ejecuta ninguna orden del MB_CLIENT y un valor de 1 cuando se encuentre ejecutando una orden.
ERROR	Parámetro que presenta la presencia de un error o ausencia del mismo al ejecutarse la petición del bloque MB_CLIENT.
STATUS	Al presentarse un error en el parámetro STATUS se muestra el código de error de la instrucción.

Para recibir los datos de temperatura enviados desde el arduino vía modbus se usó un bloque de comunicación del TIA portal, el MB_CLIENT de la carpeta de modbus TCP, como se muestra en la Figura 79.

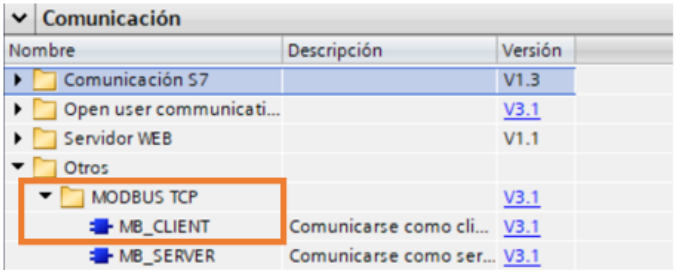


Figura 79. Bloque de comunicación MB_CLIENT.

La configuración de los parámetros se muestra en los bloques MB client de la Figura 80, definidas acorde a la descripción de la Tabla 19.

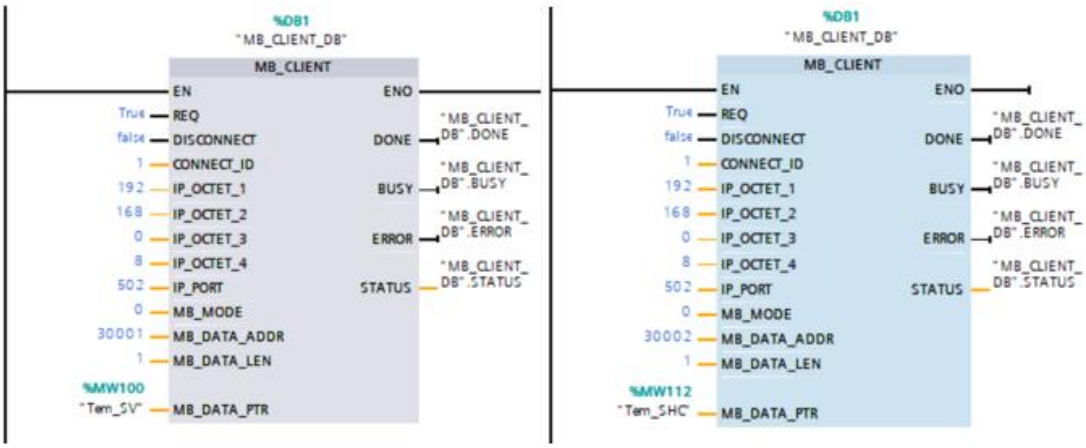


Figura 80. Segmento 8, bloques MBclient para recepción de datos

i. Segmento 9: Visualizador de datos

En el segmento 9, se observa en la Figura 81 los bloques de tipo MOVE que permite visualizar los valores de temperatura desde los displays vinculados a las variables MW100 (Tem_SV) Y MW112 (Tem_SHC).

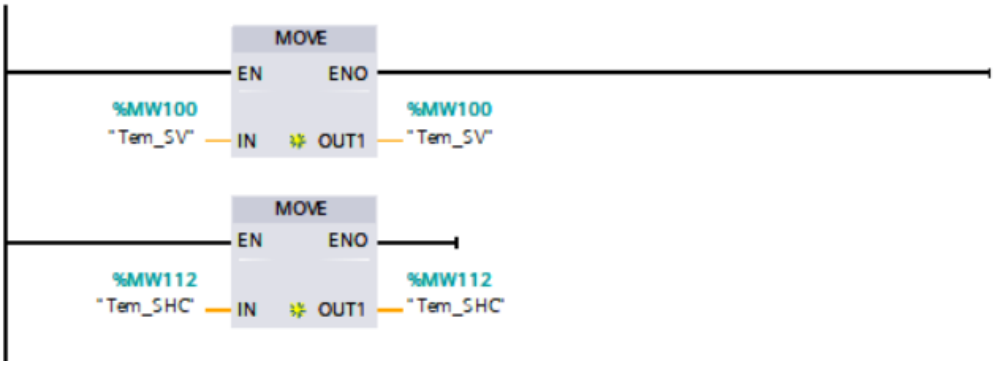


Figura 81. Segmento 9, visualizador de datos.

3.8.4 Pruebas de funcionamiento del sistema mecánico, eléctrico y neumático

Se desarrollo las pruebas de funcionamiento del sistema acorde a las especificaciones y requerimientos de cada una de las etapas que se detalla en la Tabla 20.

Tabla 20. Prueba de funcionamiento del sistema de enfundado de granos.

Prototipo máquina enfundadora de granos			
Fecha: 17/05/2024	**Responsable:** Llamba Caiza Robinson Patricio		
Lugar: Ambato	**Revisor:** Ing. Franklin Salazar		
Prueba de sistemas	**Estado**		**Observación**
	Cumple	No cumple	
Dosificación de producto	✓		Se realizo el dosificado por apertura de tolva durante un tiempo de 1 segundo cada que este recibe una señal del sensor de salida (I0.4)
Formación de empaque	✓		Se dio una forma tubular al empaque por medio del cuello formador. El film se arrastró hasta este cuello en su primera unidad enfundada.
Arrastre de funda	✓		El arrastre del film en modo manual se hizo por medio del pulsador (I0.6), en ocasiones presenta desubicación del film debido a la falta de tensión del plástico y al tipo de plástico utilizado para las pruebas de funcionamiento
Sellado vertical/horizontal	✓		Los sellados vertical y horizontal se hicieron de manera correcta siempre y cuando la temperatura y el tiempo necesario sea el adecuado al tipo de film plástico empleado.
Niquelinas	✓		Las niquelinas se calentaron en un rango definido por los transformadores de amperaje en el sellador vertical de (5 a 7) amperios y en el sellador horizontal de (8 a 9) amperios
Temperatura de sellado	✓		Las temperaturas para lograr los sellados fueron: en el sellador vertical en un rango de 60 a 83 °C, y en el sellador horizontal en un rango de 72 a 85 °C.
Corte de funda	✓		El corte de funda en el sellador horizontal se hizo posterior al sellado por lo cual este sellador manejo un amperaje mayor en la niquelina.
Censado	✓		El censado se realizó en dos etapas en el sellador vertical y en la salida de productos enfundados.
Sensor fotoeléctrico	✓		Se recibió la señal de salida de un producto enfundado para su registro.
Sensor inductivo	✓		Se recibió la señal cuando detecta el avance del cilindro doble efecto con el sellador vertical.
Luces piloto	✓		Se activo acorde a la actividad o inactividad del sistema de enfundado
Pulsadores de modo manual	✓		Cada uno de los pulsadores manuales del tablero de control accionaron las etapas del proceso, arrastre (I0.6), sellado vertical (I0.5), sellado horizontal (I0.7).

a. Apertura de tolva para dosificación de producto

El mecanismo de dosificación del sistema cuenta con un cilindro neumático que apertura el sistema cuando recibe una señal del sensor fotoeléctrico de salida de producto por un tiempo determinado, este permitió dosificar el grano en cada una de las fundas plásticas, como se puede apreciar en la Figura 82.



Figura 82. Dosificado de producto

b. Formación de empaque

La formación del empaque plástico depende de la correcta ubicación del film plástico, este al pasar por el cuello formador moldea el film plástico sin arrugas o daños para su posterior sellado vertical, como se puede apreciar en la Figura 83.



Figura 83. Ingreso de film al cuello formador.

c. Arrastre de funda

El mecanismo de arrastre de la funda plástica está formado por dos rodillos de goma, estos al ser accionados permiten su arrastre. Uno de los rodillos se mantiene fijo respecto de la estructura de la máquina, el segundo rodillo está acoplado a un mecanismo de avance por cilindro neumático el cual únicamente hará contacto con el rodillo fijo cuando la funda plástica haya llegado a esta etapa. Como se puede apreciar en la Figura 84.



Figura 84. Arrastre de film plástico.

d. Sellado vertical, horizontal con corte

En la etapa de sellado vertical, se observa en la Figura 85, un correcto accionamiento del cilindro de doble efecto con el sellador. Este cilindro dispone de un lector de temperatura termocupla tipo K, encargado de captar el calor de la superficie y enviarlo al módulo conversor MAX6675 para su procesamiento. La presión ejercida por el cilindro sobre la superficie selladora y la adecuada regulación de la temperatura desempeñaron un papel fundamental en esta etapa del proceso.

---

Figura 85. Sellador vertical

En la etapa de sellado horizontal con corte que se muestra en la Figura 86, se evidenció el correcto accionamiento manual y automático, tanto del tablero de control como desde el sistema SCADA, los dos cilindros neumáticos que ejercen presión sobre el plástico tubular para su sellado horizontal y posterior corte. Fue fundamental mantener la presión adecuada entre los cilindros y la correcta regulación de la temperatura, logrando así un sello y corte adecuados con el film plástico.



Figura 86. Sellador horizontal con corte.

Dentro de las etapas de sellado existen elementos con funciones fundamentales estas son:

- ***Niquelinas***

Las niquelinas al aumentar su temperatura realizan el sellado de la funda, están alineadas y tensadas respecto de las mordazas de sellado las cuales están acopladas a un mecanismo de avance por cilindro neumático. Las niquelinas del proceso son de 12 VCA y soportan un amperaje en el rango de 0 a 10 amperios. En la Figura 87, se aprecia las niquelinas usadas en los selladores.

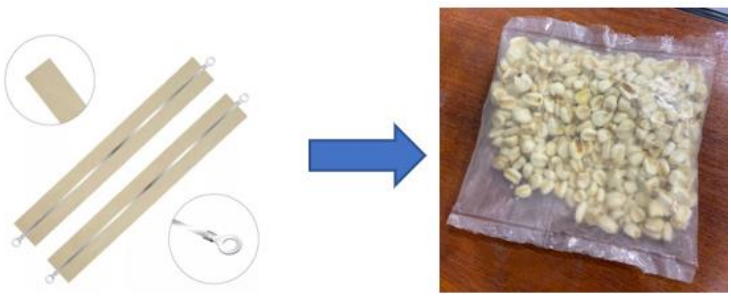


Figura 87 . Niquelinas para sellado

- ***Temperatura de sellado y corte***

La temperatura de sellado y corte dependió de la regulación dada como parámetros iniciales con el amperaje de alimentación recibida en las niquelinas de sellado vertical y horizontal con corte, con el tiempo definido para el sistema de sellado en la programación cargada en el controlador del proceso. Como se aprecia en la Figura 88.

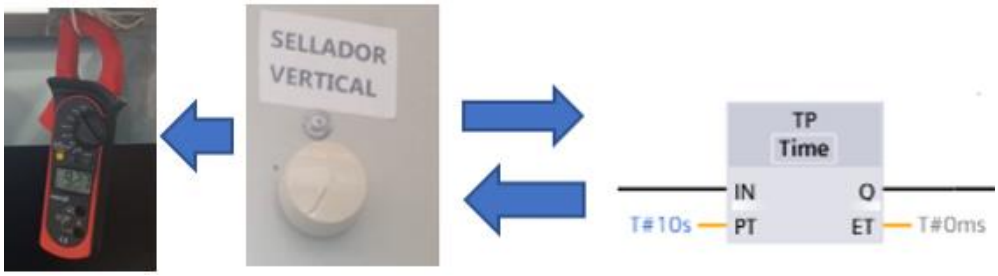


Figura 88. Definición de temperatura y tiempo de sellado y corte

e. Verificación de etapas por censado

Dentro de las etapas de censado se consideró las pruebas en el sensor fotoeléctrico en la etapa de salida del producto enfundado y en el sensor inductivo en la etapa de sellado vertical.

- ***Sensor Fotoeléctrico***

El sensor que se muestra en la Figura 89, cumple con dos funciones específicas dentro del sistema, la detección de los productos empacados a la salida de la máquina enfundadora y enviar una señal de apertura para la dosificación del producto.



Figura 89. Sensor fotoeléctrico en la etapa de salida de productos.

- ***Sensor inductivo***

El sensor que se muestra en la Figura 90, ubicado en la etapa de sellado vertical cumple la función de detectar el avance del mecanismo de sellado por medio del cilindro neumático y verifica el cumplimiento de esta etapa para que el proceso continúe.



Figura 90. Sensor inductivo en la etapa de sellado vertical

f. Luces piloto

Los indicadores de la Figura 91, ubicados en el tablero de control cumplen la función de mostrar al operador la actividad o inactividad de la máquina enfundadora una vez esta se haya encendido.



Figura 91. Indicadores de sistema activo.

g. Pulsadores de modo manual

Los pulsadores de la Figura 92, ubicados en el tablero de control del modo manual permitieron el accionamiento de cada una de las salidas del sistema de enfundado de granos.



Figura 92. Botones de modo manual del sistema de enfundado.

3.9 Parámetros de control y monitoreo de maquina enfundadora

El prototipo de máquina enfundadora tiene como propósito lograr el enfundado de granos de manera automática para esto definimos los lazos de control del sistema , estos permiten el control y monitoreo de las variables en función de los parámetros definidos en la Tabla 21.

Tabla 21. Parámetros de control y monitoreo del sistema de enfundado de granos.

Parámetros de control y monitoreo para el enfundado de granos			
Proceso	**Entrada**	**Variable**	**Parámetros**
Enfundado de grano	Activación de cilindros de sellado	Presión	110 -145 psi 8 a 10 bar Estado de electroválvulas ON/OFF
	Tiempo de sellado	Tiempo	≤ 10 seg
	Tiempo de arrastre	Tiempo	≤ 2 seg
	Tiempo de dosificado	Tiempo	≤ 1 seg
	Sellado (Niquelinas)	Temperatura	Al clima: 23 a 32 ºC De sellado: 33 a 120 ºC
	Salida de productos	Contador CTU	Cantidad en función del lote definido

Identificados los parámetros de control y monitoreo del proceso de enfundado se estableció los lazos de control, estos se detallan a continuación:

3.9.1 Lazo de control para sellado y corte

El lazo de control de la Figura 93, detalla el control para el proceso de sellado vertical y horizontal con corte de la funda plástica, una electroválvula 5/2 permite el intercambio de dos estados avance y retroceso del cilindro doble efecto con el sellador

por niquelina, la retroalimentación de este lazo de control se hizo por medio de un sensor inductivo NPN que envía la señal de que el proceso se desarrolló de manera correcta.

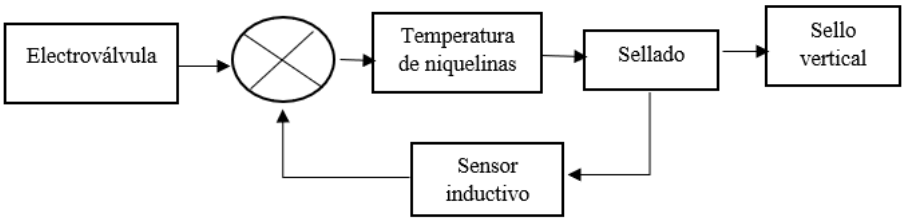


Figura 93. Lazo de control sellado vertical, horizontal y corte

3.9.2 Lazo de control de tiempo de sellado

El lazo de control de la Figura 94, detalla el control del tiempo de sellado vertical y horizontal con corte, previamente establecida la temperatura de sellado en el tablero de control de temperatura una vez producido el avance del cilindro doble efecto con el sellador, se controló el tiempo con una marca de tipo time establecida dentro de la programación del controlador en tia portal con un temporizador tipo TON, la retroalimentación de este lazo de control se establece por medio de una marca , cumplido el tiempo de sellado en el cronometro del temporizador o a su vez con un contacto normalmente abierto del temporizador a su salida.

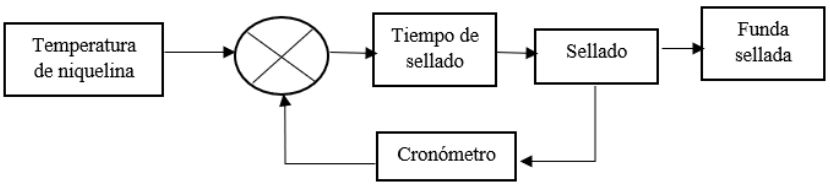


Figura 94. Lazo de control tiempo de sellado de funda

3.9.3 Lazo de control de tiempo de arrastre

El lazo de control de la Figura 95, detalla el control del tiempo de arrastre del envase plástico, una vez se haya realizado los respectivos sellados en el envase, se controló el tiempo con una marca de tipo time establecida dentro de la programación del controlador en tia portal con un temporizador tipo TON, la retroalimentación de este lazo de control se establece por medio de la activación de una marca una vez

transcurrido el tiempo de arrastre en el cronometro del temporizador o con el contacto normalmente abierto del temporizador a su salida.

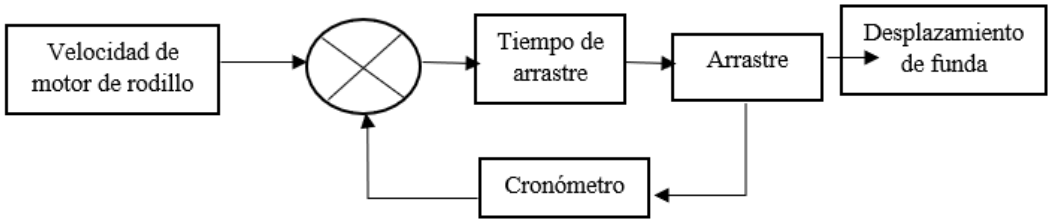


Figura 95. Lazo de control de tiempo de arrastre de funda

3.9.4 Lazo de control de tiempo de dosificado

El lazo de control de la Figura 96, se detalla el control del tiempo de dosificación del producto, una vez se haya realizado el arrastre del envase hasta su nueva posición para el sellado horizontal de cierre de envase y salida de un producto por medio del corte, se controla el tiempo por medio de una marca de tipo time establecida dentro de la programación del controlador en tia portal con un temporizador tipo TON, la retroalimentación de este lazo de control se establece por medio de la activación de una marca una vez transcurrido el tiempo de dosificado en el cronometro del temporizador.

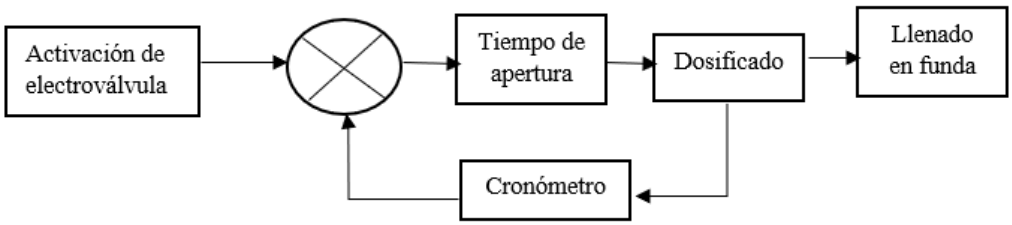


Figura 96. Lazo de control para control de tiempo de dosificado

3.9.5 Lazo de control de temperatura de sellado

En la Figura 97, detalla el lazo de control para el control de la temperatura de sellado vertical y horizontal con corte, por medio del circuito que se muestra en la Figura 55. Control de temperatura de sellado. Esta muestra cómo se da la regulación del amperaje requerida por las niquelinas para efectuar un sellado adecuado.

La termocupla tipo K permite la lectura de la temperatura generada en los selladores para su registro y monitoreo con un driver max6675 que toma la lectura analógica de la temperatura en la superficie de sellado y la lleva a una lectura digital por medio de una compensación unión fría que viene ya incorporada en el módulo.

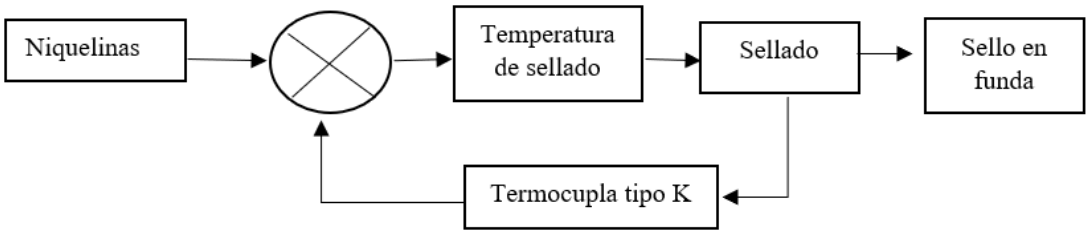


Figura 97. Lazo de control de temperatura de sellado

3.10 Propuesta de implementación de sistema SCADA

3.10.1 Arquitectura del sistema SCADA

El sistema de enfundado de granos requiere de elementos mecánicos, eléctricos, neumáticos y de automatización para su correcto funcionamiento. Un panel de control integro todos estos sistemas para gestionar el proceso. Un controlador conecto las entradas y salidas del sistema y cargada la programación necesaria se inició el proceso de enfundado. Se estableció una comunicación Modbus entre el ordenador, el controlador y un Arduino usado como receptor de datos de temperatura. El software de diseño de sistemas SCADA se conectó a una base de datos para permitir el control, monitoreo y adquisición de datos de cada parámetro del sistema de enfundado de granos como se muestra en la Figura 98.

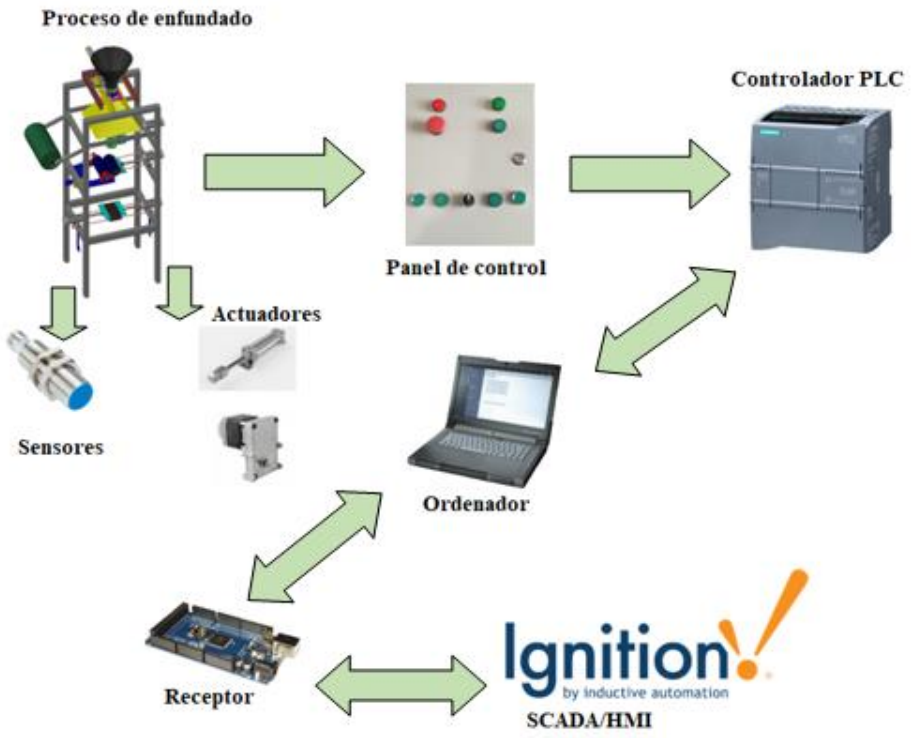


Figura 98. Arquitectura del sistema SCADA para un sistema de enfundado

3.10.2 Selección software para diseño de sistema SCADA

Existen diferentes softwares SCADA disponibles en el mercado, cada uno con características y ventajas específicas, que permiten el monitoreo y control de parámetros técnicos dentro de los distintos procesos industriales. A continuación, se presenta un cuadro de selección entre los softwares más importantes para el diseño e implementación de sistemas SCADA en función de sus características, en donde se pondera con una escala de 1 a 5, siendo 1 bajo y 5 el más alto, como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Software para diseño e implementación del sistema SCADA.

Parámetro	**Software para diseño e implementación de sistemas SCADA**			
	LabVIEW (National Instruments)	**Intouch (Wonderware)**	**Ignition (Inductive Automation)**	**WinCC (Siemens)**
Compatibilidad con dispositivos y protocolos	4	3	5	4
Interfaz de usuario intuitiva	4	4	4	5

Capacidad de visualización	3	3	5	4
Capacidad de visualización	3	3	4	4
Escalabilidad y seguridad	2	3	5	3
Soporte alarmas y eventos	3	4	4	3
Costo total de propiedad	2	4	5	3
Conectividad con la nube	2	3	5	2
Soporte técnico y actualizaciones	3	3	4	4
Promedio	2.9	3.3	4.6	3.6

El software para el diseño e implementación del sistema SCADA del proyecto es Ignition de inductive automation, gracias a su alta compatibilidad con diversos dispositivos, por medio de protocolos de comunicación, así también su interfaz con el usuario permite una mayor facilidad de interpretación y configuración con respecto a otros softwares de diseño. Su implementación en compañías de alimentos y bebidas a nivel internacional garantiza una mayor seguridad al momento de supervisar sistemas de control.

3.10.3 Diseño interfaz SCADA en Ignition Automation

El diseño de una interfaz para el control, monitoreo y adquisición de datos de un proceso industrial por medio del servidor Ignition de inductive automation se desarrolló con los puntos que se detallan a continuación:

a. Configuración e ingreso al servidor web de Ignition Automation

La configuración hace referencia a las funciones que ofrece la industria de inductive automation en cuanto a comunicación con dispositivos y bases de datos. Permite restaurar, guardar el archivo global, descargar y ejecutar el servidor.

En la Figura 99, se muestra el ingreso al sistema por medio de un usuario y contraseña creada en la página web de inductive automation, este proporciona una licencia gratuita de prueba para diseño de sistemas SCADA.

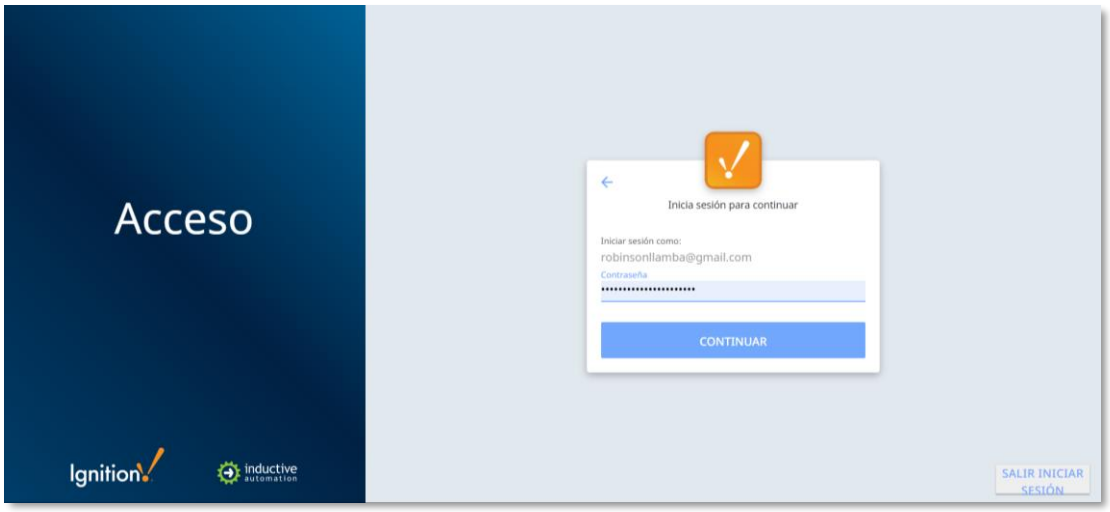


Figura 99. Ventana login ignition del autor.

Una vez dentro del servidor de ignition se muestra el panel principal con la arquitectura, conexiones, ambiente, sistemas y diagnóstico del servidor ignition como se observa en la Figura 100.

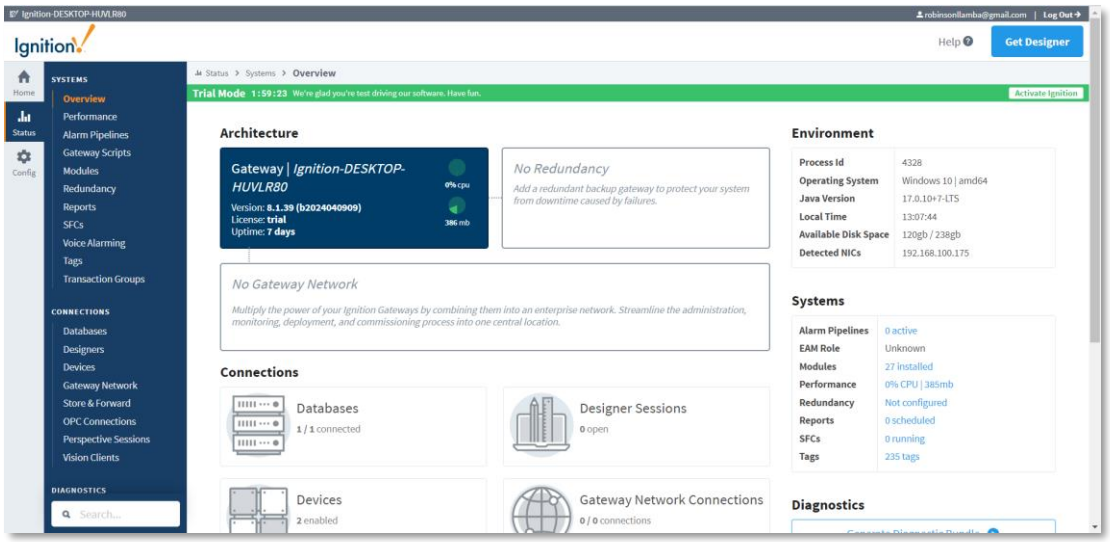


Figura 100. Panel principal servidor Ignition.

Al instalar el servidor Ignition en nuestra PC se creó por defecto la puerta de enlace con el nombre del ordenador como se muestra en la Figura 101, esta permite la comunicación entre dispositivos o sistemas dentro de una red industrial. La puerta de enlace de ignition cumple con la función principal de permitir que los datos se transmitan de manera eficiente entre diferentes equipos y sistemas dentro de una planta o instalación industrial.

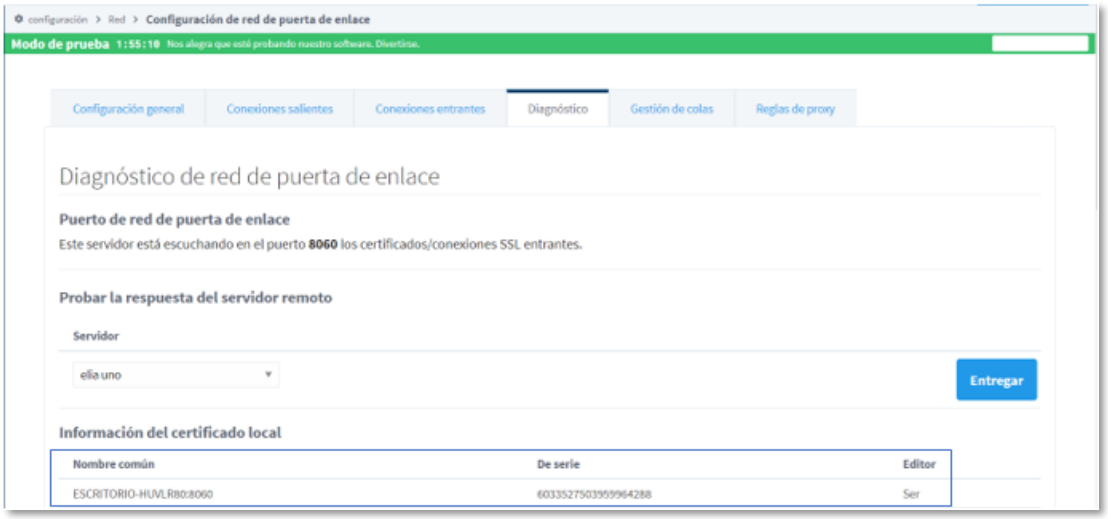


Figura 101. Puerta de enlace del servidor Ignition autor.

De la misma forma se instaló módulos con licencia de tipo ensayo que se pueden observar en la Figura 102, estas permiten la comunicación e intercambio de datos entre las distintas variables del proceso industrial que se controló.

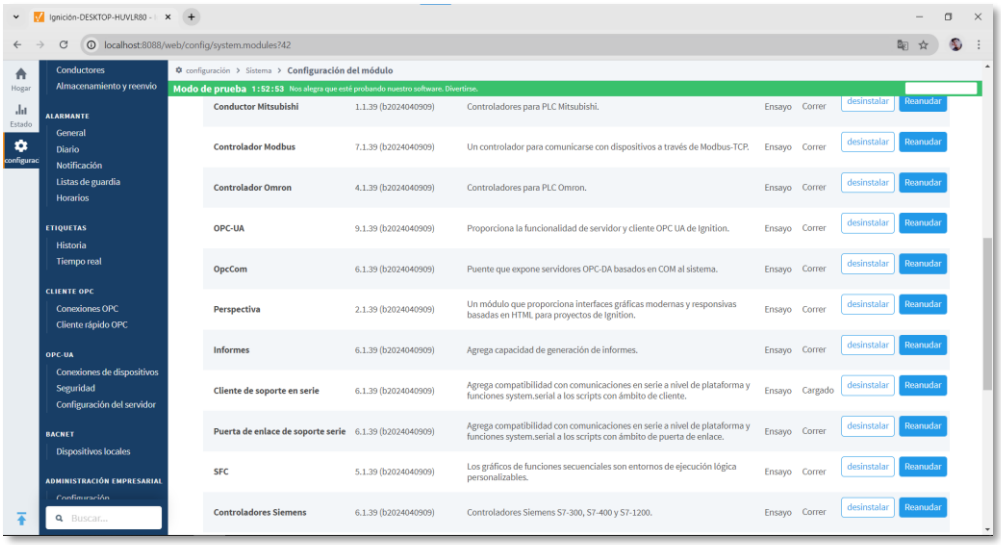


Figura 102. Módulos de ensayo instalados en el servidor ignition del autor.

b. Creación del proyecto

En la Figura 103, se creó un nuevo proyecto con una identificación acorde al proceso industrial controlado, en este caso un proyecto para el control, monitoreo y adquisición de datos de un prototipo de máquina enfundadora de granos por medio de un

controlador PLC siemens S7 1200 1212 ac/dc/rly. Se agrego el nombre del proyecto y los parámetros siguientes se establecieron por defecto.

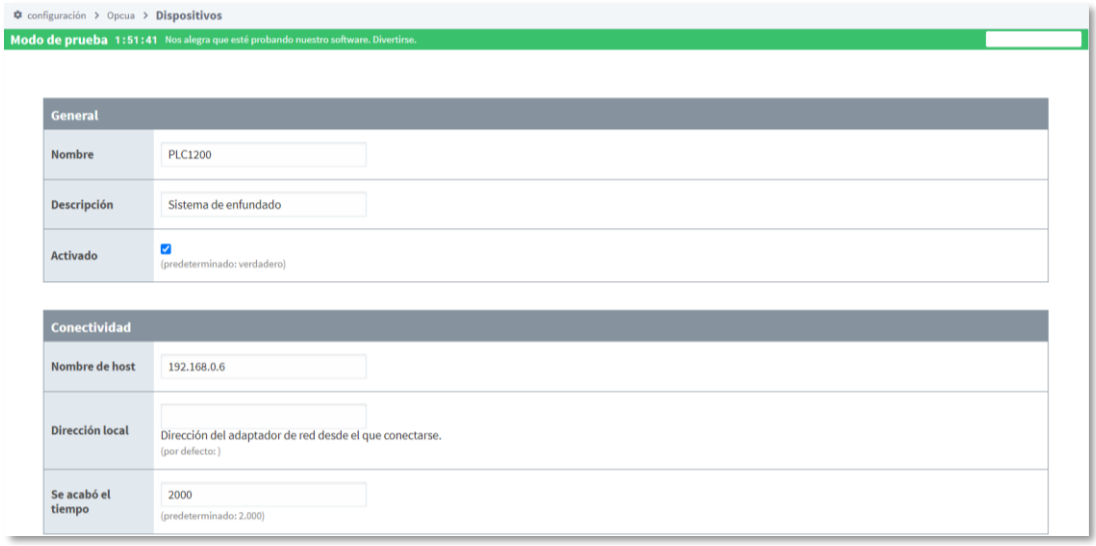


Figura 103. Creación de proyecto del autor.

Una vez creado el proyecto se descargó el diseñador de ignition disponible en el servidor, este se ejecutó como administrador y su ingreso se lo realizó medio del usuario y contraseña con el cual se creó la cuenta dentro del servidor de ignition automation como muestra la Figura 104.

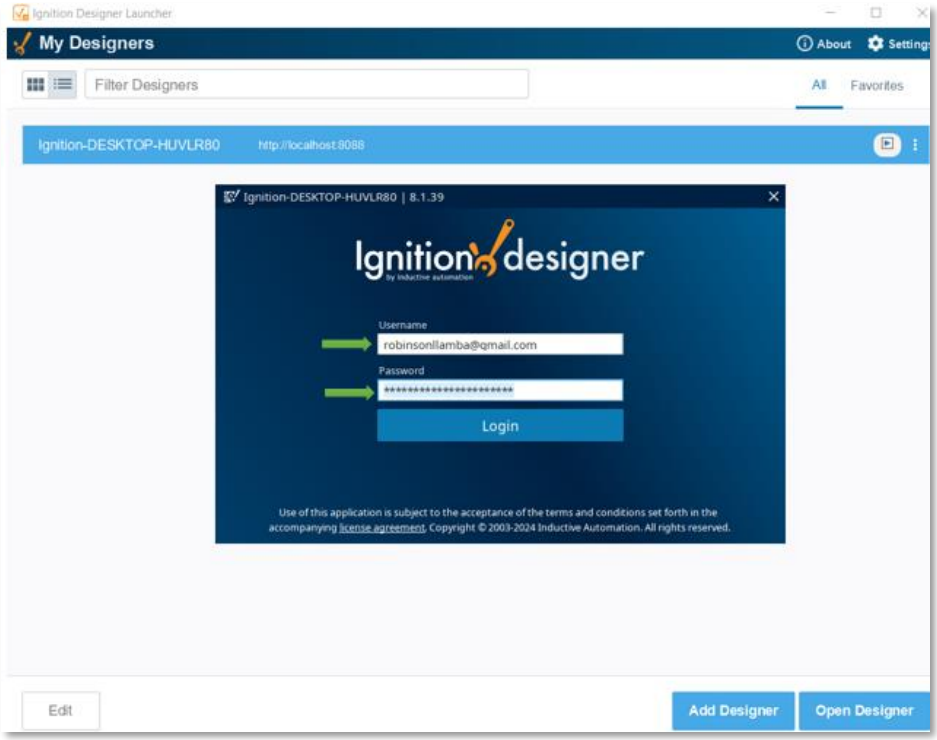


Figura 104. Ingreso al diseñador de Ignition del autor

Una vez dentro del diseñador se ejecutó el proyecto creado dentro del servidor de diseño de ignition como se muestra la Figura 105.



Figura 105. Ejecución del proyecto en el diseñador del autor.

c. Creación de ventanas e iconos de navegación

En la Figura 106, se observa que el sistema tiene 3 niveles de navegación distribuidos de la siguiente manera:

- Nivel I (pantalla Principal)

- Nivel II (Pantallas Modo manual y modo automático)
- Nivel III (Acceso a pantallas para gestión de alarmas e históricos)

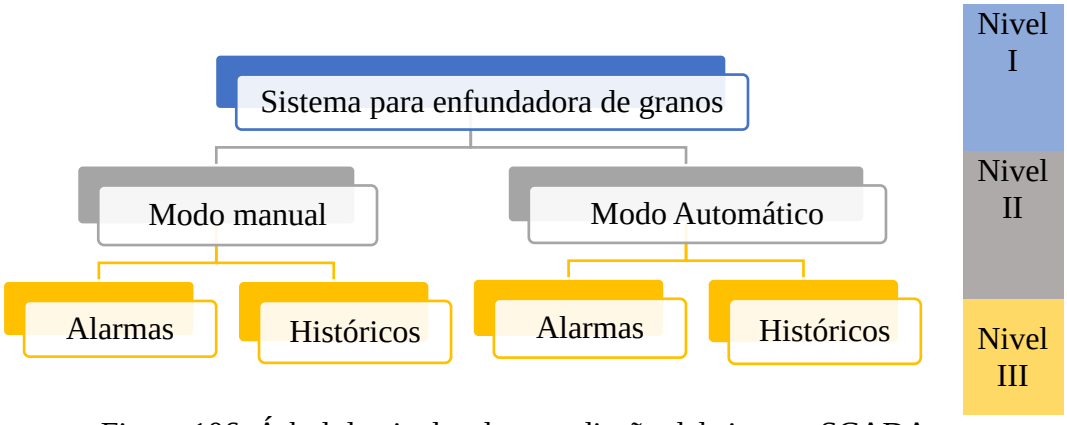


Figura 106. Árbol de niveles de para diseño del sistema SCADA

El sistema SCADA para el prototipo de enfundadora de granos cuenta con 6 ventanas de navegación de 6 x 7 cm, estas se encuentran distribuidas en: pantalla principal, pantalla de modo manual, pantalla de modo automático, pantalla de alarmas y pantalla para gestión de históricos, como se muestra en la Figura 107.

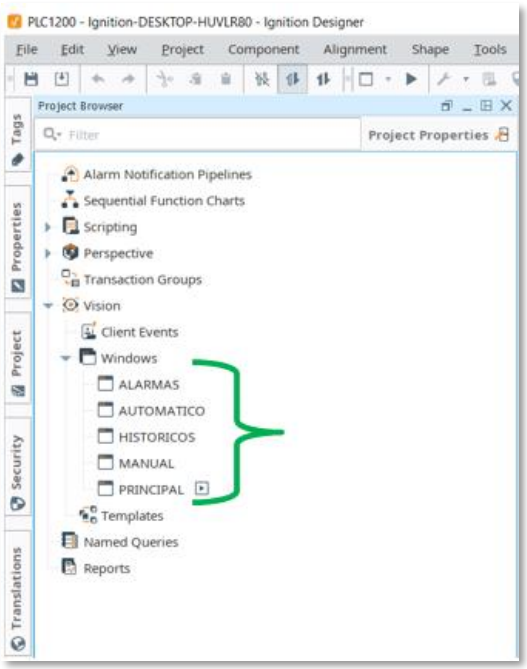


Figura 107. Distribución de ventanas de navegación del autor.

d. Interfaz gráfica de las ventanas

El desarrollo de la interfaz gráfica se estandarizo bajo la norma ISA 101, la cual proporciona pautas y recomendaciones para el diseño efectivo y eficiente de interfaces humano, máquina y sistemas SCADA, dentro de esta se consideró fuentes de nomenclatura, colores y disposición de cada uno de los elementos que forman el sistema de control, monitoreo y adquisición de datos.

- ***Ventana principal***

La ventana principal o de nivel I, cuenta con el encabezado formado por 4 labels, en estos se ubicó textos informativos referente al sistema, también se visualiza un logotipo que identifica el proyecto y el estado de conectividad con el controlador, en esta ventana se tiene acceso a dos botones para el ingreso a las dos modalidades de puesta en marcha del equipo manual y automático como se muestra en la Figura 108.



Figura 108. Ventana de nivel I del sistema de control para enfundado de granos

- ***Ventana de modo manual***

La ventana de nivel II permitió el control, monitoreo en modo manual del sistema, y está formada con los elementos que se detallan en la Tabla 23 y se muestra en la Figura 109.

Tabla 23. Elementos que componen la ventana de nivel II de modo manual

1.	Botones de navegación hacia los diferentes niveles del sistema
2.	Panel con indicadores piloto que muestran si el sistema se encuentra en estado run o stop.
3.	Panel con botones de arranque del sistema (marcha y parada)
4.	Panel con botones de accionamiento manual para cada uno de los actuadores que intervienen dentro del ciclo de enfundado de granos.
5.	Estructura simulada con elementos en 2D de la maquina enfundadora.
6.	Panel con indicadores piloto para el control del tiempo en cada una de las etapas del enfundado de granos.
7.	Indicador del establecimiento de la conexión con el controlador PLC.

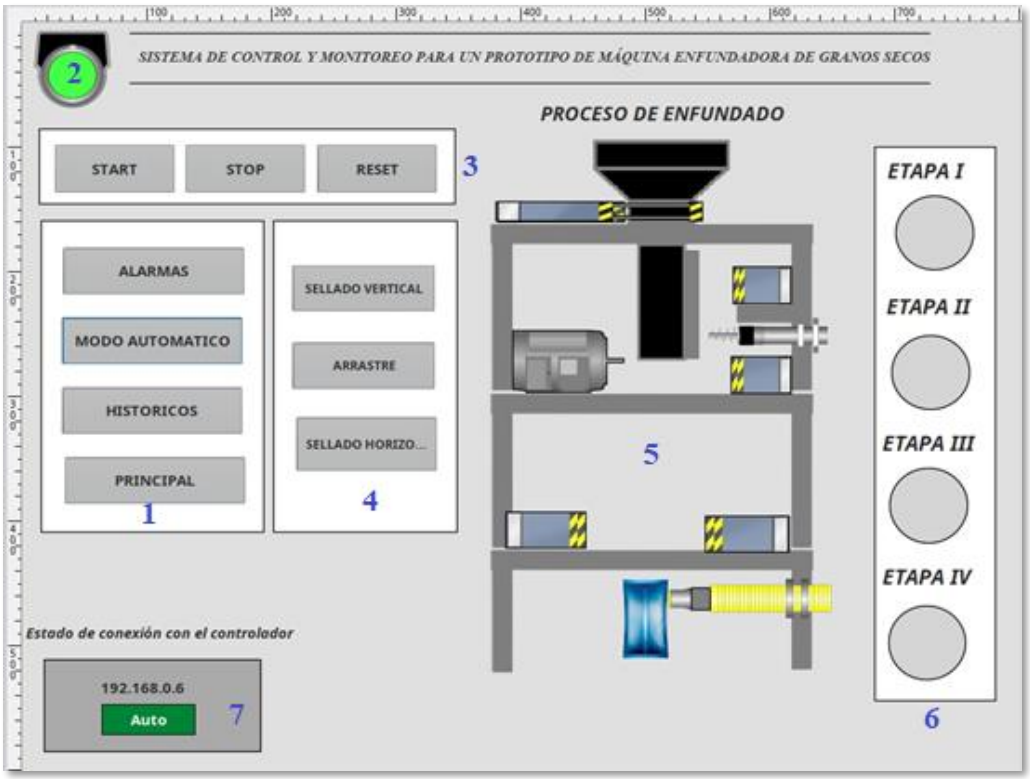


Figura 109.Ventana de nivel II puesta en marcha modo manual.

- ***Ventana de modo automático***

La ventana de nivel II permitió el control y monitoreo en modo automático del sistema, está formado por los elementos que se detallan en la Tabla 24 y se muestran en la Figura 110.

Tabla 24. Elementos que componen la ventana de nivel II de modo automático

1.	Botones de navegación hacia los diferentes niveles del sistema
2.	Panel con indicadores piloto que muestran si el sistema se encuentra en estado run o stop.
3.	Panel con botones de arranque del sistema (marcha y parada)
4.	Contador de unidades enfundadas a la salida de la máquina.
5.	Panel con los indicadores de las temperaturas de sellado.
6.	Estructura simulada con elementos en 2D de la maquina enfundadora.
7.	Línea de control de aire hacia cada uno de los actuadores neumáticos del sistema de enfundado
8.	Panel de control del tiempo en cada una de las etapas del proceso de enfundado.
9.	Indicador del establecimiento de la conexión con el controlador PLC.

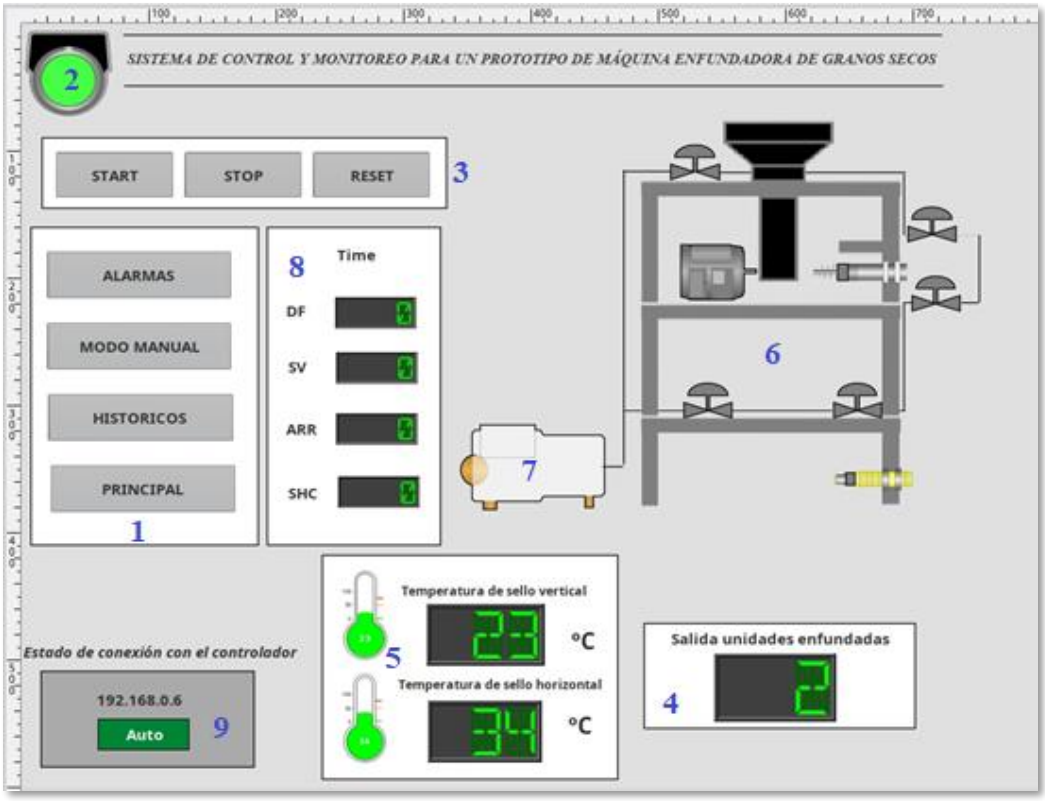


Figura 110. Ventana de nivel II puesta en marcha modo automático.

- ***Ventana de gestión de alarmas***

La ventana de nivel III permitió la gestión de alarmas del proceso y está formado por los elementos que se detallan en la Tabla 25 y se muestra en la Figura 111.

Tabla 25. Elementos que componen la ventana de gestión de alarmas

1.	Botones de navegación hacia los diferentes niveles del sistema
2.	Panel con indicadores piloto que muestran si el sistema se encuentra en estado run o stop.
3.	Tabla de estado de alarmas de las variables del proceso

4.	Indicador del establecimiento de la conexión con el controlador PLC.

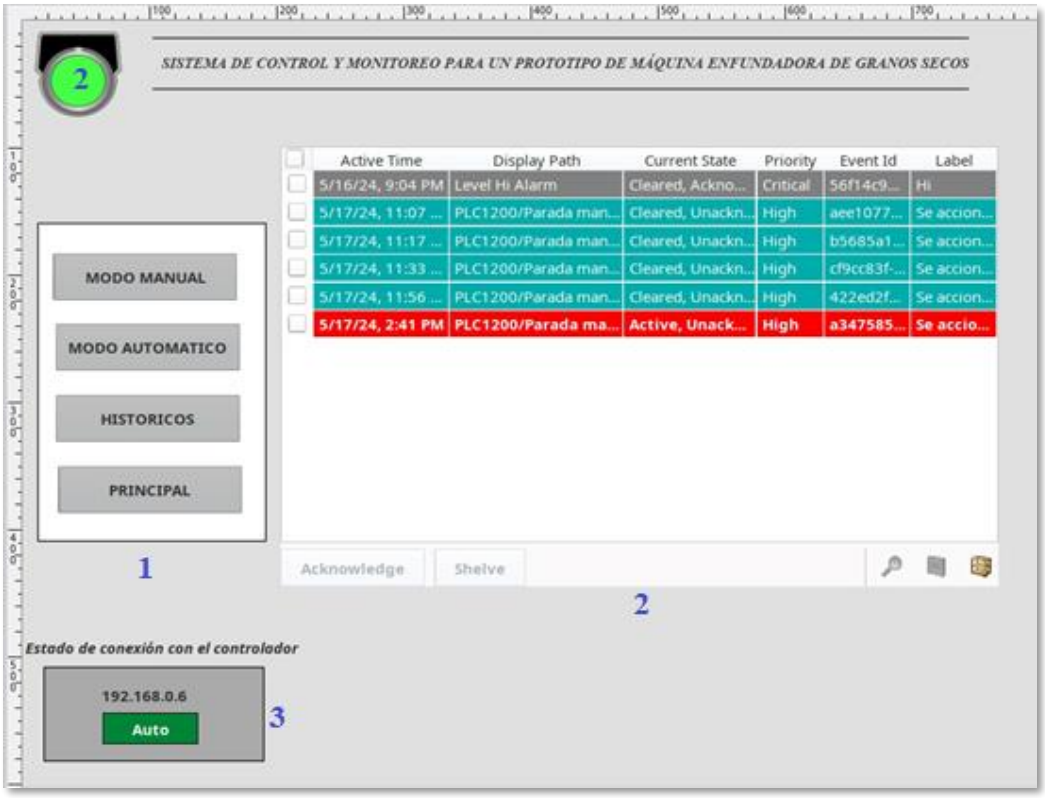


Figura 111. Ventana de nivel III gestión de alarmas.

- ***Ventana de gestión de históricos***

La ventana de nivel III permitió la gestión de los históricos del proceso está formado por los elementos que se detallan en la Tabla 26 y se muestran en la Figura 112.

Tabla 26. Elementos que componen la ventana de gestión de históricos.

1.	Botones de navegación hacia los diferentes niveles del sistema
2.	Panel con indicadores piloto que muestran si el sistema se encuentra en estado run o stop.
3.	Display para control del histórico en tiempo real de las temperaturas de los selladores vertical y horizontal.
4.	Visualizador de temperatura de los selladores.
5.	Indicador del establecimiento de la conexión con el controlador PLC.

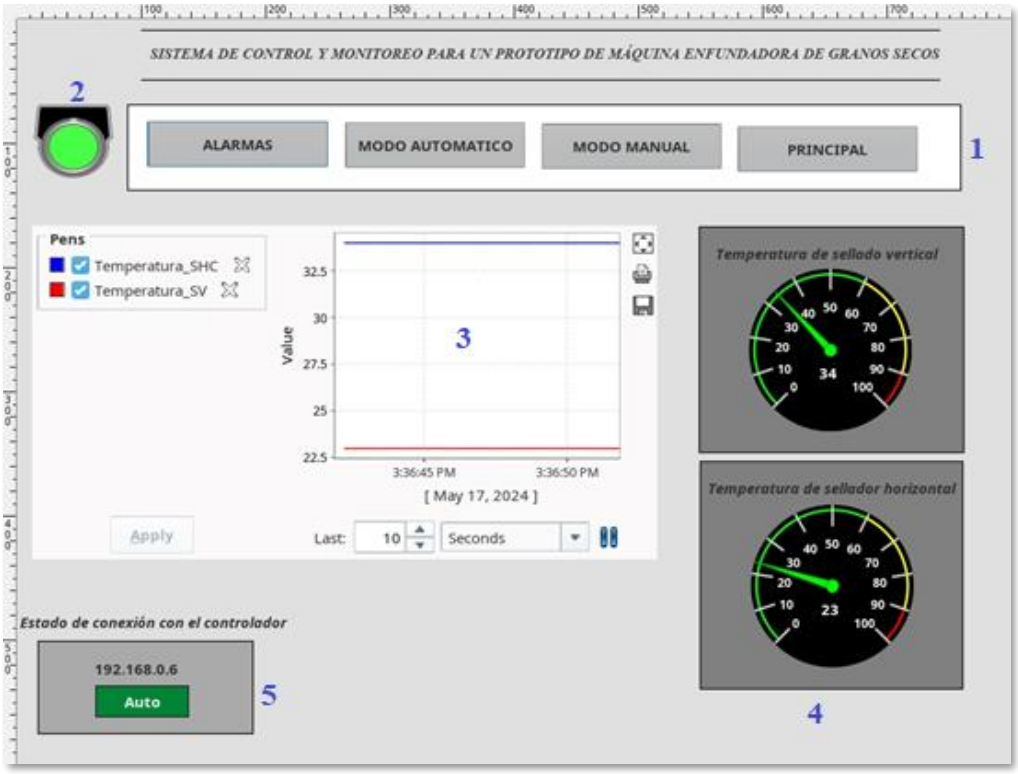


Figura 112. Ventana de nivel III gestión de históricos.

e. Creación de tags o etiquetas de las variables de control

En la ventana de etiquetas se creó una carpeta con el nombre PLC1200 como se muestra en la Figura 113, dentro de esta se guardaron cada una de las variables del proceso, entradas y salidas del sistema de enfundado de granos.

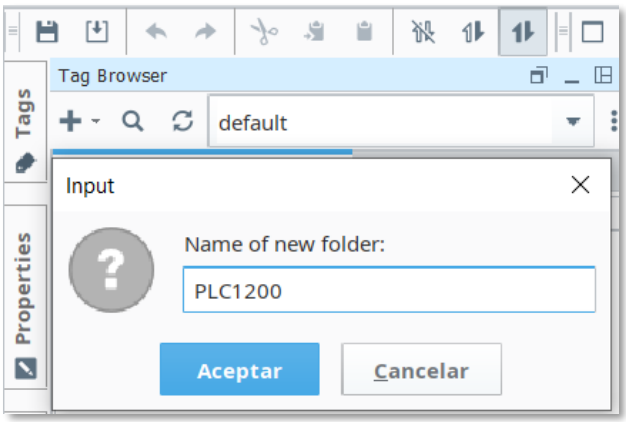


Figura 113. Carpeta de etiquetas del proyecto del autor.

Para la creación de las etiquetas de las variables del proceso se consideró el tipo de etiqueta, para el proceso en cuestión se usó etiquetas estándar del tipo OPC como se muestra en la Figura 114.

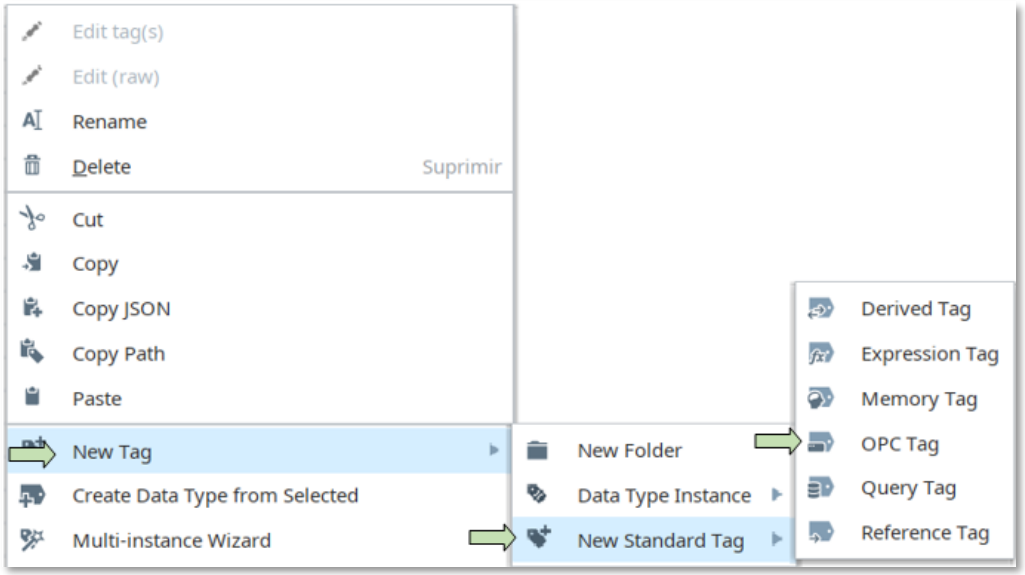


Figura 114. Creación de una nueva etiqueta para variable del proceso.

Las características de la etiqueta contienen: nombre de la etiqueta, el valor fuente que es de tipo OPC, el tipo de dato, el servidor OPC que es el ignition OPC UA server y la dirección de la etiqueta que contiene la estructura [Nombre de la carpeta de etiquetas]identificación de las variables como se muestra en la Figura 115.

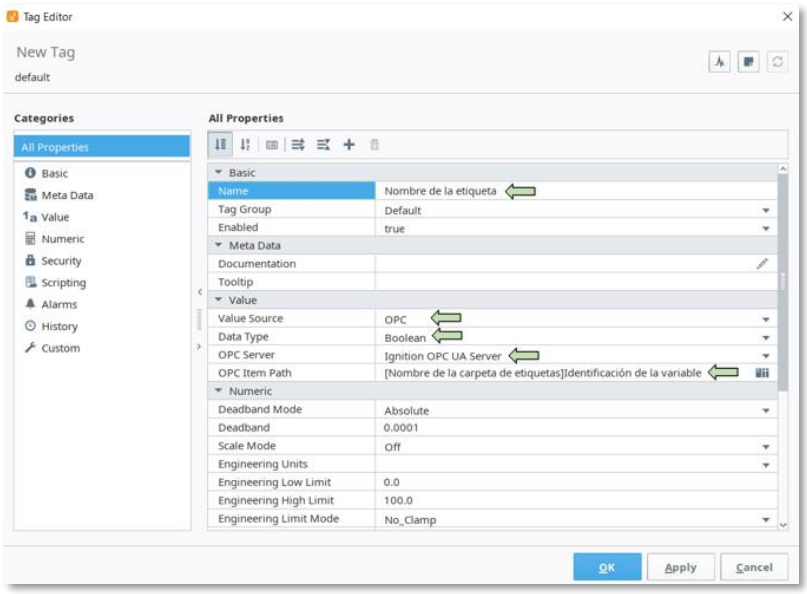


Figura 115. Identificación de las etiquetas de las variables del proceso.

La identificación de las variables se realizó acorde a la sintaxis que ofrece la plataforma ignition para identificar etiquetas estas directrices se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27.Sintaxis para identificación de etiquetas.

Nombre	Tipo de dato	Ignition sintaxis
start	M0.0	Mx0.0
stop	M0.1	Mx0.1
motor	Q0.0	Qx0.0
señal	MW112	MW112
contador	QW30	QW30

En la Figura 116, se observa las etiquetas para controlar y monitorear el proceso de enfundado en cada una de sus etapas

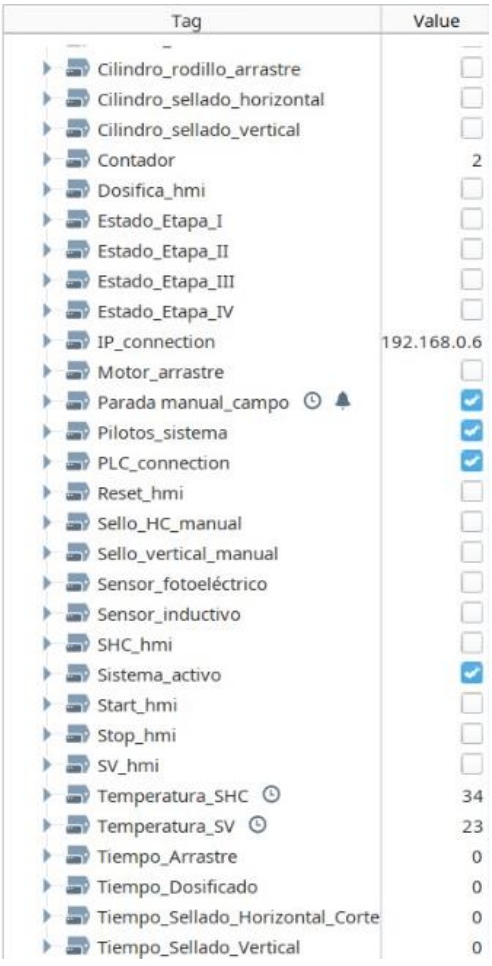


Figura 116. Etiquetas del proceso de enfundado.

f. Gestión de Alarmas

La gestión de las alarmas por medio del software ignition son condiciones donde se evaluó cuando cambia el valor de una etiqueta. Estas alarmas se gestionaron en las etiquetas del proceso y se estableció con prioridad baja, media, alta o critica dependiendo el caso. Siguiendo la guía de colores proporcionada por la norma ISA-101 que se observa en la Figura 30.

A continuación, se detallan la configuración de una alarma dentro del control y monitoreo del sistema de enfundado de granos.

- ***Configuración de alarma en etiqueta***

En la Figura 117, se observa las características consideradas al configurar una alarma, lo principal es definir el nombre de la alarma, está relacionada con una etiqueta en campo, de manera específica la parada de emergencia con una prioridad de tipo media, esta se activó cuando el botón de parada de emergencia situado en campo hizo un cambio de estado de 0 a 1, mostrando en la pantalla de nivel III de gestión de alarmas.

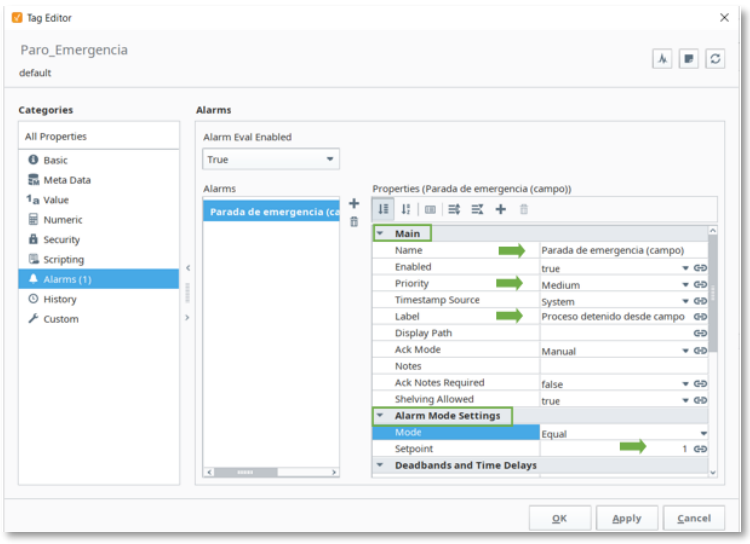


Figura 117. Configuración de alarma

g. Gestión de históricos

La gestión de los históricos se realizó mediante el módulo de historiador de etiquetas de Ignition, el cual proporciona potencia y flexibilidad para el almacenamiento y acceso a los datos históricos. Al estar vinculado a una etiqueta en Ignition, este módulo almacena los datos en una base de datos SQL proporcionada por el servidor de Ignition para su posterior uso a través de comandos, enlaces históricos o informes. Además, permite la historización en tiempo real mediante gráficas configuradas con intervalos de tiempo específicos, proporcionando a los usuarios acceso rápido a los datos dentro del rango temporal requerido.

A continuación, se detalla la configuración para historizar las temperaturas de los selladores del sistema obtenido por medio de una termocupla tipo K al estar en contacto con la superficie caliente del sellador.

- ***Configuración de históricos en etiqueta***

En la Figura 118, se observa la configuración de la etiqueta de la temperatura del sellador vertical, dentro de esta se consideró las siguientes características: base de datos proveedor SQL, el estilo del dato auto, el modo de dato en absoluto, el tiempo máximo para la toma de datos fue cada segundo.

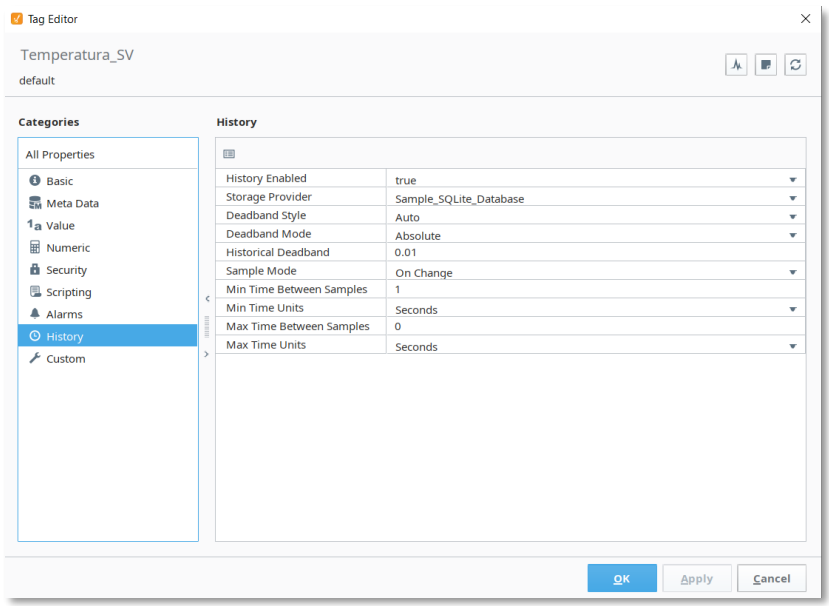


Figura 118. Configuración para historiar la temperatura en el sellador vertical

En la Figura 119, se observa en tiempo real la historización de las variables de temperatura en el sellador vertical y horizontal, para esto se empleó una gráfica de tipo chart dentro de la pantalla de nivel III sobre la cual se arrastra la etiqueta configurada previamente acorde al tipo de señal que se recibe.

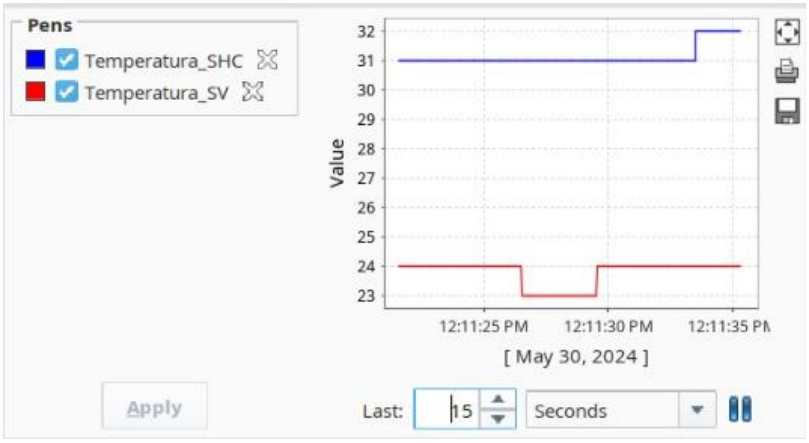


Figura 119. Historización en tiempo real de una etiqueta

3.10.4 Adquisición de datos del proceso de enfundado

En la Figura 120, se muestra la arquitectura para la comunicación y adquisición de datos, donde el controlador PLC gestiona el proceso automatizado de enfundado, el arduino uno con su Shield amplío la capacidad de censado y control, un ordenador que actúa como interfaz de supervisión y configuración se comunica por medio de una red creada por un router como pieza central garantizando una comunicación estable y rápida logrando que los datos fluyan entre los dispositivos de manera sincronizada.

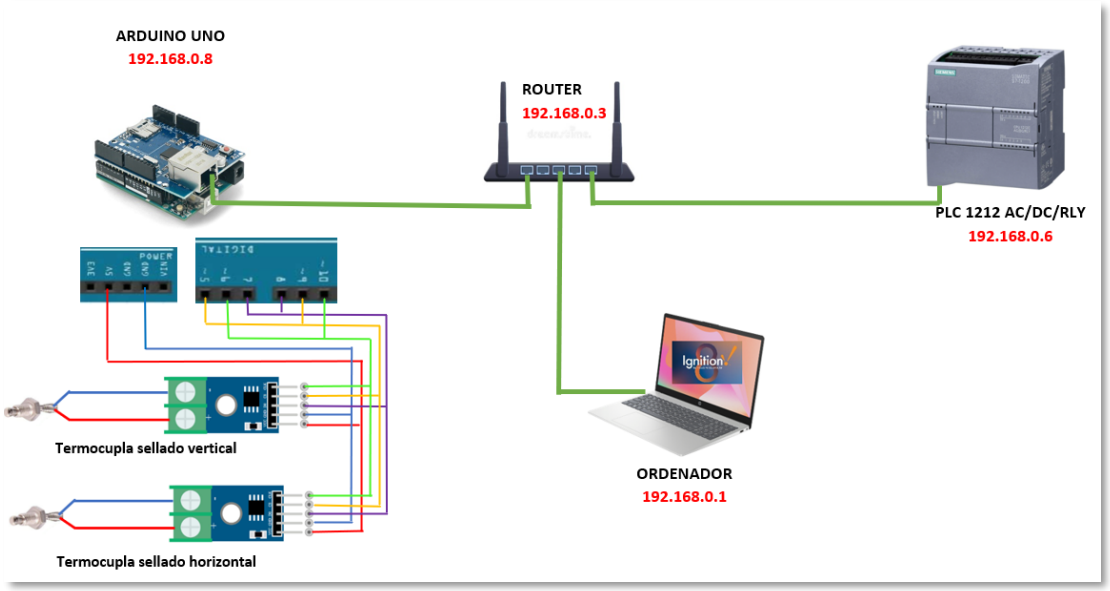


Figura 120. Arquitectura para adquisición de datos de temperatura del proceso.

Para lograr establecer la comunicación entre los dispositivos mencionados cada uno de estos deben tener su dirección IP para trabajar en una única red, se puede establecer cualquier dirección teniendo en cuenta que siempre deben pertenecer a la conectividad IP_V4. Esto se detalla en la Tabla 28.

Tabla 28. Direcciones IP de los dispositivos de la red de comunicación

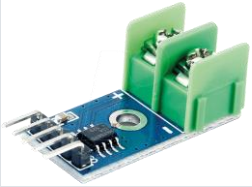
Dirección IP	**Mascara de subred**	**Dispositivo del sistema**
192.1680.3	255.255.255.0	Router
192.168.0.8	255.255.255.0	Placa arduino shield
192.168.0.6	255.255.255.0	Controlador PLC
192.168.0.1	255.255.255.0	Ordenador con sistema SCADA (ignition)

A continuación, se detalla la configuración en cada uno de los dispositivos mencionados con la cual se estableció la comunicación y obtención de los datos del proceso de enfundado.

a. Configuración Arduino uno

Para establecer una comunicación con otros dispositivos se usó una shield al arduino con la finalidad de aprovechar la función de conectividad a red local y lectura de sensores como temperatura por medio de un driver conversor MAX6675 las características de estos elementos se detalla en la Tabla 29.

Tabla 29. Características elementos para adquisición de datos

Arduino uno ATmega328P	
Voltaje de operación:	5V
Entrada de alimentación:	7-12V
Pines digitales I/O:	14
Pines PWM:	6
Pines analógicos:	6
Corriente por pin:	20 mA
Corriente del pin 3.3.V:	50 mA max
Memoria Flash:	32 KB (0.5 KB usados por el bootloader)
SRAM:	2 KB
EEPROM:	1 KB
Velocidad de reloj:	16 MHz
LED programable integrado:	13
Dimensiones:	68.6 x 53.4 mm
Peso:	25 gramos
Ethernet Shield W5100	
Voltaje de Operación:	5V DC
Controlador Microchip:	Ethernet Wiznet W5100
Velocidad Ethernet:	10/100 Mbps
Interfaz con el microcontrolador:	Host por SPI
Protocolo:	TCP y UDP.
Dimensiones:	70.3 mm x 53.3 mm
Peso:	27 g
MAX 6675	
Voltaje de Operación:	5V DC
Corriente de trabajo:	50mA
Rango de Temperaturas Termocupla:	-200ºC hasta 1300ºC

Resolución Transmisor MAX6675:	12 bits (0ºC - 1023ºC)
Resolución de temperatura:	0.25ºC
Interfaz de comunicación:	SPI
Dimensiones:	25*15*13 mm

Para leer la temperatura que se presenta en la superficie de sellado de la enfundadora se realizó con una termocupla tipo K, la conexión de esta al arduino se detalla a continuación en Figura 121.

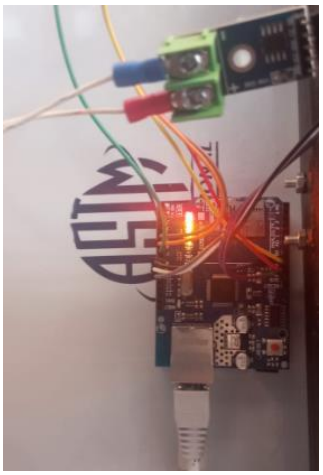


Figura 121. Lectura de datos de temperatura con placa arduino y driver max6675

- ***Conexión termocupla tipo K y módulo MAX6675***

El módulo MAX6675 permite la lectura precisa de la temperatura con una termocupla tipo K, una compensación de unión fría envía los datos en resolución de 12 bits con formato de solo lectura siendo esta compatible con interfaz SPI de una placa arduino.

- ***Programación del arduino***

En la Tabla 30, se observa la programación dentro del arduino para la lectura de los datos enviados desde una termocupla tipo K por medio de un módulo max6675 y él envió de esta vía modbus hasta el software programador de controladores tia portal para su posterior visualización e historización en el sistema SCADA.

Tabla 30. Código para lectura y envío de datos de temperatura vía modbus

Código	Descripción
#include "max6675.h"	Esta librería permite que el arduino uno se comunique con el sensor termopar de tipo K por medio del driver max6675 y use sus funciones y definiciones.
#include <Ethernet.h>	Es una librería que incluye una biblioteca Ethernet que proporciona las herramientas para que el arduino uno logre conectarse a redes Ethernet, de uso fundamental cuando se crea una red local vía cable Ethernet.
#include <ModbusIP.h>	Permite la lectura y escritura de registros modbus por medio de redes industriales como el protocolo modbus TCP/IP, facilitando el intercambio de datos entre la placa arduino y el controlador PLC programado en el ordenador.

int ktcSO = 8;
int ktcCS = 9;
int ktcCLK = 10;
 	
int ktcSO1 = 7;
int ktcCS1 = 5;
int ktcCLK1 = 6;
	Se define la asignación de pines para los módulos max6675 de las dos termocuplas tipo K instaladas en los selladores, dicho modulo usa el protocolo de comunicación SPI por lo cual se asigna un pin para cada una de sus funciones como lo son SO (salida serial), CS (Selección del chip para comunicarse) y CLK (señal de reloj que sincroniza la transferencia de datos).

MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO); MAX6675 ktc1(ktcCLK1, ktcCS1, ktcSO1);	Crea una instancia de clase max6675 usada para comunicarse con los termopares tipo K, logrando leer de esta manera la temperatura en los selladores.

const int InputRegister=0;//IW64
const int InputRegister1=1;//IW64
	Definimos dos constantes de tipo int para el registro de los datos de temperatura.

ModbusIP mb;	Se crea un objeto llamado mb de clase ModbusIP que permite configurar la conexión de red manejar solicitudes modbus y leer/escribir registros.
void setup() { Serial.begin(9600)	Se inicializa el puerto serial para la comunicación con una velocidad de 9600 baudios.
byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF,0xFE, 0xED}; byte ip [] = {192,168,0,8}; mb.config (mac,ip);	Se define la dirección MAC y dirección IP de la placa arduino y por medio del método config del objeto ModbusIP se inicializa la comunicación en la red Ethernet, haciendo que el arduino funcione como un dispositivo Modbus TCP/IP en la red y pueda así comunicarse con otros dispositivos.
mb.addIreg(InputRegister); mb.addIreg(InputRegister1);	Se añaden registros de entrada al objeto ModbusIP haciendo que el arduino actúe como servidor modbus y proporcione estos registros a clientes modbus en la red, por medio de esto se van actualizando los valores de temperatura leídos por los termopares en cada uno de los dispositivos comunicados dentro de la red local creada.

void loop() {
int t = ktc.readCelsius();
int t1 = ktc1.readCelsius();
	Permite la lectura de las temperaturas en grados Celsius de los termopares almacenando el valor en una variable de tipo entera con el fin de controlar y monitorear dichos valores.

Serial.print("C = "); Serial.println(t);	Se imprime el símbolo de grados Celsius en el monitor serial posterior a la impresión del valor de temperatura.
delay(300);	Detiene la ejecución del programa por 300 milisegundos antes de volver a publicar u nuevo valor leído
mb.task();	Permite manejar las solicitudes entrantes y actualizar los registros modbus según sea necesario.
mb.Ireg(InputRegister,t); mb.Ireg(InputRegister1,t1);	Se actualizan los valores del registro de entrada con el valor de temperatura leído por el termopar.

3.11 Resultados obtenidos de la implementación del sistema SCADA

Diseñado el sistema SCADA para control y monitoreo del proceso de enfundado y establecida la comunicación entre los dispositivos controlador, base de datos arduino uno y sistema SCADA ignition se obtuvo los resultados que se detallan a continuación:

3.11.1 Accionamiento automático y manual de salidas del sistema

Los botones de accionamiento manual para activación del sistema; start, stop y reset, botones de navegación entre ventanas del sistema SCADA; modo automático, modo manual, alarmas e históricos y también botones para accionamiento manual de cada uno de los actuadores del sistema como se muestra en la Figura 122.



Figura 122. Botones de accionamiento manual.

3.11.2 Conexión con el controlador del proceso

La conexión con el controlador PLC puede tener dos estados auto cuando existe comunicación y off cuando no existe comunicación, aquí también se muestra la dirección IP configurada en el controlador aparece en el parámetro IP_connection como se muestra en la Figura 123.

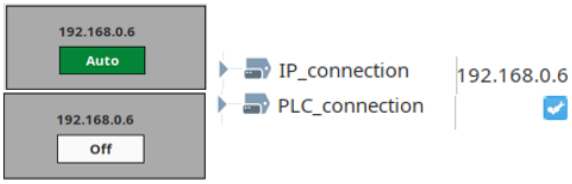


Figura 123. Estado de conexión con el controlador PLC

3.11.3 Visibilidad del estado de entradas y salidas del sistema

En la Figura 124, se muestra un modelado en 2D del proceso de enfundado, con la simulación de los actuadores cilindros doble efecto en cada una de las etapas, estas se activan al pulsar los botones de modo manual que se observa en la Figura 122. También se aprecia las luces piloto de activación de cada etapa del proceso de enfundado.

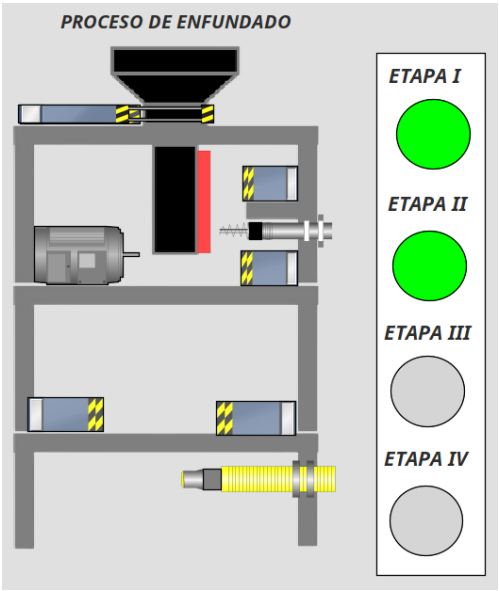


Figura 124. Entradas y salidas modo manual

En la Figura 124, se observa un modelado 2D, con un diagrama de la línea neumática del proceso de enfundado, este tiene la activación de electroválvulas, motor de arrastre y sensores del proceso.

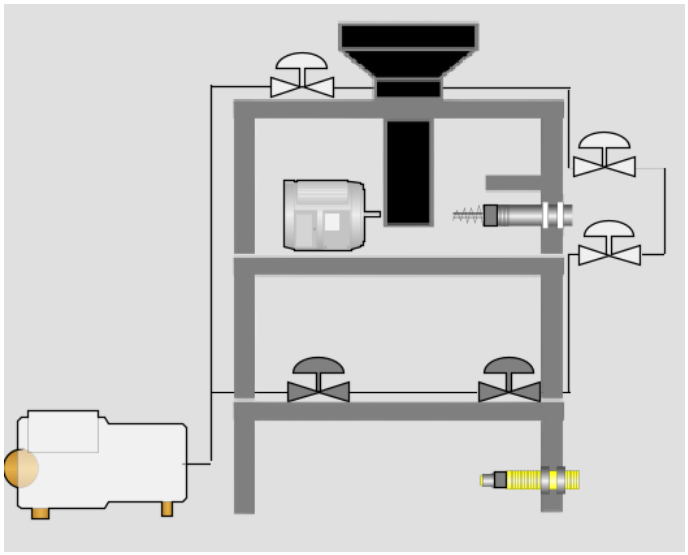


Figura 125. Entradas y salidas modo automático

3.11.4 Gestión de alarmas

En la ventana de gestor de alarmas del proceso está una tabla para verificar el estado de las alarmas definidas en el proceso, como se muestra en la Figura 126, se encuentra activa una alarma de nivel alto cuando se acciono la parada de emergencia desde el tablero de control en campo, estas alarmas desaparecen una vez el gestor del sistema SCADA las reconozca.

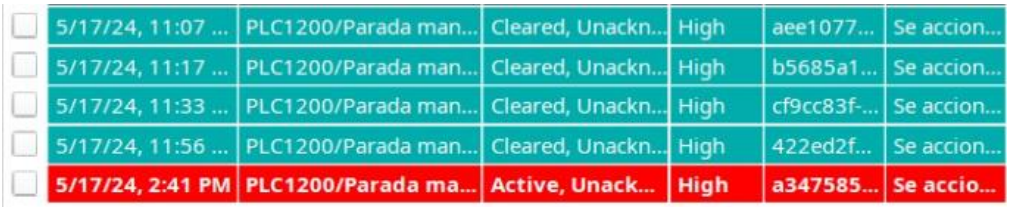


Figura 126. Alarma de nivel alto de parada de emergencia desde campo.

En la Tabla 31, se observa las alarmas definidas por cada nivel siendo estos; bajo, medio, alto y crítico considerando algunas de las variables del proceso de enfundado.

Tabla 31. Alarmas definidas en el proceso

Variable	Tipo de alarma	Descripción
Salida de producto (QW30)	Entero de nivel bajo	Es una alarma de tipo entera establecida en el contador para el cumplimiento de un lote de enfundado de 10 unidades, una vez que el contador exceda este valor se activa esta alarma de nivel bajo.

Activación de actuadores (Q0.2)	Booleano de nivel medio	Es una alarma de tipo booleano que se activa cuando la salida del actuador no cambia de estado es decir se encuentra inactivo impidiendo la ejecución de la etapa.
Parada manual en campo (I0.0)	Booleno de nivel alto	Esta alarma de tipo Booleano que se activa en el gestor de alarmas cuando el operador encargado de la maquina acciona el paro de emergencia desde el tablero de control en campo, presentándose una alarma de nivel Alto.
Temperatura en sellador horizontal con corte (MW112)	Entero de nivel alto	Es una alarma de tipo entera la cual se activa cuando el nivel de temperatura en el sellador horizontal no es el suficiente para lograr un sellado horizontal adecuado con una temperatura menor a 40°C lo que impide el sellado con corte y por ende la salida de un nuevo producto.
Temperatura en sellador vertical (MW110)	Entero de nivel critico	Es una alarma de tipo entera la cual se activa cuando el nivel de temperatura en el sellador vertical excede el nivel establecido igual a 83 °C.

3.11.5 Lectura de tiempos de ejecución de las etapas del sistema

En la Figura 127, se muestra un bloque con cuatro displays en los cuales se presenta el tiempo de ejecución de cada una de las etapas del proceso siendo estas: dosificado, sellado vertical, arrastre y sellado horizontal

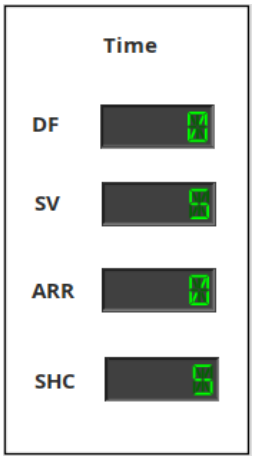


Figura 127. Control de tiempos en cada etapa del sistema

3.11.6 Lectura de temperaturas de sellado

En la Figura 128, se observa un panel de control formado por dos displays en los cuales se muestra las temperaturas de sellado, que se encuentran a temperatura ambiente al no estar en contacto con la superficie de sellado, con temperaturas de 23 ºC y 31 ºC del sellador vertical y horizontal respectivamente.

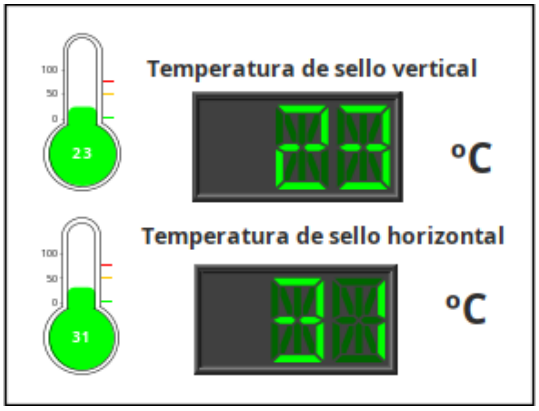


Figura 128.Monitoreo de las temperaturas de sellado.

Se tomo la lectura de 10 datos de temperatura por medio del variador en diferentes amperajes para que calienten las niquelinas, sabiendo que los transformadores ofrecen un amperaje de 0 a 7 Amperios en el sellador vertical y de 0 a 10 Amperios en el sellador horizontal. Los valores recolectados se detallan a continuación en la Tabla 32.

Tabla 32. Datos registrados de temperatura en las niquelinas de sellado.

	Sellador Vertical			**Sellador horizontal y corte**		
Rango (Amp)	**Amp**	**T (°C)**	**Film**	**Amp**	**T (°C)**	**Film**
0	0	23	No sella	0	31	No sella ni corta
0 a 1	0.5	24	No sella	0.52	31	No sella ni corta
1 a 2	1.2	25	No sella	1.23	32	No sella ni corta
2 a 3	2.77	26	No sella	2.35	35	No sella ni corta
3 a 4	3.10	33	No sella	3.40	38	No sella (cortes en los bordes)
4 a 5	4.09	38	Sello con fisuras	4.60	45	Sello con fisuras y no corta
5 a 6	5.22	60-75	Sello adecuado	5.70	52	Sello con fisuras y no corta
6 a 7	6.03	83	Sello adecuado	6.36	59	Sello con fisuras y corte incompleto
7 a 8	Limitado	85	Sello con cortes	7.33	72	Sello sin fisuras corte incompleto
8 a 9	Limitado	No existe rango en regulador	No aplica	8.49	85	Sello y corte adecuado
9 a 10	Limitado	No existe rango en regulador	No aplica	9.26	91	Sello con fisuras y corte total
10 o mas	Limitado	No existe rango en regulador	No aplica	10 o mas	100	Sello defectuoso corte total

Análisis. – El registro de datos de temperatura del sistema de sellado vertical por superficie caliente con niquelina establece que el amperaje para este prototipo debe

encontrase en un rango de 5 a 6 amperios donde la superficie de sellado alcanza una temperatura que varía de 60 a 83 °C presentando un sellado adecuado sin fisuras. Por otra parte, en el sellador horizontal con corte el amperaje se regulo en un rango de 8 a 9 amperios donde se presenta una temperatura de 72 a 85 °C en la superficie de sellado logrando que el sellado sea adecuado y cierre la funda de salida e ingreso de igual forma que haya un corte total de la funda para su salida.

3.11.7 Monitoreo de salida de productos

En la Figura 129, se observa un display que permite llevar el registro del número de fundas de grano salientes del proceso la cual va en aumento cada vez que el sensor fotoeléctrico ubicado a la salida del proceso reciba una señal de salida.



Figura 129. Control de cantidad de productos salientes del sistema.

a. Capacidad de producción del prototipo

Para el cálculo de la capacidad teórica del prototipo de máquina de enfundado se obtuvo el tiempo de ciclo por unidad, al ser un proceso automático temporizado por etapas esta cuenta con tiempos ya establecidos para la ejecución de cada una de estas que se muestran en la Figura 130.

Etapa	Dosificado	Arrastre	Sellado vertical	Sellado horizontal con corte
Tiempo establecido	1 segundo	1 segundo	7 segundos	10 segundos

Figura 130. Tiempo de ciclo del prototipo de máquina enfundadora

Se tuvo en consideración que las etapas de sellado vertical y horizontal con corte se ejecutan de manera simultánea con un tiempo de 10 segundos para el cálculo de la capacidad teórica del sistema, se tuvo así un tiempo de ciclo promedio de 12 segundos. Cabe recalcar que en los tiempos establecidos para las etapas de sellado son en función de la temperatura regulada en los selladores.

Datos disponibles:

$Tiempo\ de\ ciclo\ promedio = 12\ seg$

$Horas\ de\ operación\ diarias = 8\ horas$

$Dias\ laborable\ al\ mes = 22\ dias$

$Eficiencia\ del\ proceso = 90\%\ (0.90)$

Pasamos el tiempo de ciclo a horas por unidad

$$TCP = \frac{12\ seg}{3600\ \frac{seg}{hora}} = \frac{12}{3600} = 0.00333\ \frac{horas}{unidad}$$

La capacidad teórica por hora seria:

$$CT = \frac{1\ unidad}{0.00333\ \frac{horas}{unidad}} = 300\ \frac{unidades}{hora}$$

Esta capacidad multiplicamos por la eficiencia del proceso

$$300\ \frac{unidades}{hora} x 0.90 = 270\ \frac{unidades}{hora}$$

La capacidad diaria seria de:

$$270\ \frac{unidades}{hora} x\ 8\ \frac{hr}{dia} = 2160\ \frac{unidades}{dia}$$

La capacidad mensual seria de:

$$2160\ \frac{unidades}{dia} x\ 22\ \frac{dias}{mes} = 47520 \frac{unidades}{mes}$$

Análisis. – La capacidad teórica productiva del prototipo de enfundadora de granos fue de 270 unidades por hora, con una jornada de 8 horas una capacidad diaria de 2160 unidades y con 22 días laborables una capacidad mensual de 47520 unidades. Se considero un tiempo de ciclo de 12 segundos, donde sale una funda de grano a través de las etapas del proceso. Se tomo en cuenta una eficiencia del sistema al 90% esto ante posibles demoras o fallos que se presentaron en la puesta en marcha del prototipo.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El diseño de sistemas de control y monitoreo para procesos industriales representa un paso significativo hacia la modernización y optimización, siempre y cuando estos se fundamenten en guías o normativas nacionales e internacionales de diseño. Por ejemplo, la norma IEC 1082-1 proporciona pautas y nomenclatura de sistemas eléctricos, mientras que la norma ISA 101 se enfoca en el diseño de sistemas SCADA. Estas normativas ofrecen recomendaciones que garantizan la precisión y efectividad del sistema de control, dentro de una plataforma versátil que permite la adaptación y mejora continua en la industria del empaquetado y enfundado de productos.

- A través de una investigación bibliográfica aplicando la metodología prisma, se obtuvo una visión integral de los sistemas SCADA dentro del sector industrial. Se logro comprender el papel fundamental que desempeñan estos sistemas en los procesos industriales y el impacto que generan en términos de eficiencia, seguridad y calidad en los entornos de producción. Entre sus principales funciones, destaca cómo sus interfaces facilitan la interacción entre los operadores y los sistemas de control, permitiendo la toma de decisiones acertadas y oportunas. Es importante recalcar el incremento significativo de beneficios en cuanto a eficacia y competitividad de las operaciones industriales modernas, desde las más simples hasta las más complejas, haciendo necesario la implementación de estos sistemas en los diversos sectores de la industria.

- El diseño mecánico, estructural, eléctrico y neumático del prototipo permitió identificar y definir con precisión cada uno de los parámetros de control en todas las etapas que influyen directamente en un enfundado eficiente de los granos. Esta identificación sentó una base sólida para la automatización del proceso, su supervisión y adaptación detallada a diversas condiciones de operación. Además, la determinación de estos parámetros de control establece fundamentos para investigaciones futuras y mejoras en procesos industriales

similares, así como su implementación con el objetivo de lograr eficiencia, confiabilidad y calidad en el contexto industrial del enfundado y empaquetado de productos.

- La implementación del sistema de control y monitoreo permitió integrar de manera continua las etapas de un proceso de enfundado, brindando la capacidad de ajustar y optimizar en tiempo real los parámetros de funcionalidad. La aplicación efectiva del control mediante un PLC, con una programación adaptada a las variables específicas del proceso, junto con el uso de un sistema SCADA, facilito la visualización intuitiva de los datos y el acceso remoto, contribuyendo así a una toma de decisiones más informada. Esto se logró gracias a las tecnologías de comunicación como OPC UA y Modbus TCP, que permiten la supervisión de variables cruciales como el tiempo y la temperatura.

4.2 Recomendaciones

- Un diseño previo mecánico, eléctrico y neumático en un sistema automático de enfundado con softwares como AutoCAD, Cadesimu y Fluidsim, evita errores futuros en cuanto a la construcción mecánica de la estructura y permite visualizar como se dará el flujo de un determinado proceso, así como disposición del cableado en el panel de control.

- Un control más óptimo para un sistema automático de enfundados se logrará con la implementación de sensores en cada una de las etapas del proceso, ya que así se podría controlar el posicionamiento adecuado de cada uno de los actuadores del proceso logrando un sistema de enfundado más optimo que cumpla los parámetros establecidos en su diseño.

- Conocer las propiedades físicas de los polímeros usados para el enfundado de productos es fundamental ya que permitirá conocer los límites de temperatura a establecer para lograr un sello optimo y de calidad.

- Emplear componentes de entrada y salida de nivel industrial para mejorar la precisión en la ejecución de cada una de las etapas del proceso y por ende su efectividad y eficiencia.

- Agregar un módulo de entradas y salidas digitales al controlador, para ampliar el control de las variables del proceso en cada etapa del enfundado de productos.

- Proporcionar un mecanismo de dosificado por peso en la tolva, para garantizar la calidad del producto enfundado y su homogeneidad en el lote producido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] E. Flores García, J. C. Quezada Quezada, I. Bautista Mejía, and R. V. H. Calderón Medina, "Implementación de PLC-HMI para control y monitoreo en la automatización de una máquina emplayadora en la industria refresquera para empaquetado de Tetra Briks," *Boletín Científico INVESTIGIUM la Esc. Super. Tizayuca*, vol. 5, no. 9, pp. 12–23, 2019, doi: 10.29057/est.v5i9.4016.

[2] E. Vaca, "Implementación de un sistema SCADA mediante el software INTOUCH para el control y visualización de procesos industriales," 2019. [Online]. Available: http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8916

[3] S. Filali-Yachou, C. González, and C. Lecuona, "HMI/ SCADA standards in the design of data center interfaces: A network operations center case study," *DYNA*, vol. 82, no. 193, pp. 180–186, 2015, doi: 10.15446/dyna.v82n193.53494.

[4] L. Martínez and D. Zaldivar, "Process automation in the industry 4 . 0," vol. 5, no. 1, pp. 51–56, 2023, doi: DOI: https://doi.org/10.34070.

[5] P. Herrera, "Diseño de un sistema automático de control y registro de temperatura para el proceso de pasteurización en la industria alimentaria," 2019. [Online]. Available: https://hdl.handle.net/20.500.12867/2970

[6] P. Maldonado, "Diseño e implementación de un sistema SCADA-IIoT de monitoreo de paros en máquinas de tejido, para reducir tiempos de corte," 2023.

[7] A. Klinger and R. Cepeda, Diseño e implementación del sistema SCADA en el módulo de comunicación IEC 61850 para monitoreo de los IED de los módulos de protección de sistemas de generación, líneas de transmisión y redes de distribución. 2020. [Online]. Available: https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19097

[8] M. Salgado, "Diseño e implementación de un sistema SCADA del proceso de llenado de agua en botellas con proyección a la industria 4 . 0 empleando simatic iot 2040," UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA, 2019. [Online]. Available:

http://repositorio.upse.edu.ec:8080/jspui/handle/46000/4784

[9] Y. V. Ilyushin and O. V. Afanaseva, “Development of SCADA-model for trunk gas pipeline’s compressor station,” *J. Min. Inst.*, 2019, doi: 10.31897/PMI.2019.6.686.

[10] A. Laverde, “Diseño de un Sistema SCADA como Herramienta de Gestión y Control de Mantenimiento de los Equipos Electromecánicos para el Área ELPO de la Empresa Aymesa,” 2021. [Online]. Available: http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/23642/1/T-ESPE-044248.pdf

[11] Á. L. Castillo Flores, L. G. Fernández Garcia, and L. A. Ángeles Resendiz, “Impacto del TPM en el Desempeño Operativo de las Empresas Industriales del Sur de Tamaulipas,” *Revista de Ingeniería Industrial*, vol. 2, no. 4, pp. 29–35, 2018. [Online]. Available: www.ecorfan.org/republicofperu%0Ahttp://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Industrial/vol2num4/Revista_de_Ingeniería_Industrial_V2_N4_4.pdf

[12] A. Shahzad *et al.*, “The protocol design and New approach for SCADA security enhancement during sensors broadcasting system,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 75, no. 22, pp. 14641–14668, 2016, doi: 10.1007/s11042-015-3050-2.

[13] M. Salgado, “Diseño e implementación de un sistema SCADA del proceso de llenado de agua en botellas con proyección a la industria 4 . 0 empleando simatic iot 2040,” 2019.

[14] L. Téllez, “Sistema SCADA para el pesaje de los residuos en el proceso de maquinado de aluminio para la industria del municipio de Yumbo Valle del Cauca,” 2022.

[15] U. Younas, S. Durrani, and Y. Mehmood, “Designing Human Machine Interface for Vehicle’s EFI Engine Using Siemen’s PLC and SCADA System,” *Proc. - 2015 13th Int. Conf. Front. Inf. Technol. FIT 2015*, pp. 205–210, 2016, doi: 10.1109/FIT.2015.44.

[16] H. Meddeb, Z. Abdellaoui, and O. Ezzine, “Human Machine Interface Design

of Industrial Automated Machine Using Simatic SCADA System," *Int. J. Ind. Eng. Theory Appl. Pract.*, vol. 30, no. 2, pp. 435–450, 2023, doi: 10.23055/ijietap.2023.30.2.8561.

[17] L. Ordoñez, "Adaptación de la tecnología estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales (OPC), en un prototipo de sistema SCADA basado en la plataforma Ignition y controladores lógicos programables," 2018.

[18] J. L. Ochoa-Hernández, M. Barcelo-Valenzuela, F. M. Cirett-Galán, and R. A. Luque-Morales, "A model to develop SCADA systems in productive environments," *Comput. y Sist.*, vol. 22, no. 4, pp. 1543–1558, 2018, doi: 10.13053/CyS-22-4-2823.

[19] M. Iza and A. Medina, "Diseño y construcción de una máquina dosificadora y empacadora controlada por PLC para la línea de producción de snacks de la empresa ECUAMEX S.A," *Corresp. Análisis*, no. 15018, pp. 1–23, 2016.

[20] S. Mendoza, "Aplicaciones del proceso de sellado en la industria confecciones de plástico," 2020.

[21] J. Herrera and R. Moreno, "Fabricación de prototipo de máquina empacadora y selladora de granos en la empresa productos empaquetados el grano," *Coorporación Univ. Autónoma*, p. 7, 2022.

[22] P. Bueno Marquez, *Operatividad con sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos de máquinas e instalaciones*. 2014.

[23] E. Mercedes and N. Vargas, *Selección de Elementos de Máquinas*. 2022.

[24] F. Arrata and K. Naranjo, "Diseño de prototipo a scala reducida de una máquina automatizada envasadora de bebidas de café para pequeñas productoras en las islas Galápagos," 2024.

[25] Ternium and R. Sepulveda, "Elementos Mecánicos." 2015.

[26] P. Guamán, "Automatización de una máquina de envasado volumétrico para la producción de snacks de la empresa COFICA EXPORT S.A.," 2019. [Online]. Available:

https://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/1930/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2019-013.pdf

[27] J. C. Martín and G. Pilar, *Automatismos industriales cableados (Automatismos industriales)*. 2016.

[28] M. Salmerón, "Diseño de una máquina de alimentación, dosificadroa de alimentos semisólidos," Universidad Politécnica de Valencia, 2022.

[29] F. Ebel, S. Idler, G. Prede, and D. Scholz, "Neumática Electroneumática." Festo Didactic GmbH & Co., Denkendorf, Alemania, pp. 1–212, 2009.

[30] L. Baque, C. A. Aguirre, N. J. Barreto, and K. N. Barros, "Niveles de automatización y climatización en el proceso de fabricación de la desgranadora de maíz," *J. Bus. Entrep.*, vol. 4, no. 2, pp. 45–60, 2020, doi: https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.73.

[31] R. Sanchis, J. Romero, and C. Ariño, *Automatización industrial*, 1st ed. Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacion, 2010.

[32] SMC International Training, "Pirámide de automatización." Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: https://www.smctraining.com/es/webpage/indexpage/311

[33] P. Herrera, "Diseño de un sistema automático de control y registro de temperatura para el proceso de pasteurización en la industria alimentaria," Universidad Tecnológica del Perú, 2019. [Online]. Available: https://hdl.handle.net/20.500.12867/2970

[34] A. Rodríguez, *Sistemas SCADA (2a.ed.)*. 2007.

[35] A. Rodríguez, *Sistemas SCADA*, 3ra ed. 2013.

[36] L. Téllez, "Sistema SCADA para el pesaje de los residuos en el proceso de maquinado de aluminio para la industria del municipio de Yumbo Valle del Cauca," Universidad Autónoma de Occidente, 2022.

[37] J. Carmona, "Instrumentación y control clásico optimizado a traves de un sistema SCADA para un proceso de temperatura," Universidad Autonoma del

Estado de Hidalgo, 2024.

[38] I. Menéndez, “Desarollo de una aplicacion para medida y visualización de señales fisiologicas basado en labview,” Universidad de Málaga, 2022.

[39] W. Tapias, K. Niño, and D. Reyes, “Diseño de pautas para la implementación del software WinCC flexible aplicado a un SCADA para el manejo de variables de proceso a nivel de planta,” 2023.

[40] R. Andrade, “Módulo didáctico para controlar nivel y caudal de agua, mediante sistema SCADA, PLC y algoritmo PID.,” *Riemat*, vol. 4, no. 2, 2019.

[41] V. Fernández and J. Prieto, “Estudio de la plataforma de software ignition para el desarrollo de proyectos de internet de las cosas industrial,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2020.

[42] A. Ayala, “Diseño y simulación de una máquina automática dosificadora, empacadora y selladora de granos,” 2022. doi: 10.13140/RG.2.2.34185.93283.

[43] A. Córdova and M. Tapay, “Diseño de un sistema SCADA para el control de proceso virtuales,” 2010. [Online]. Available: http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265

[44] International Society of Automation., “American National Standard, ANSI/ISA-101.01-2015: Human machine interfaces for process automation systems, approved 9 July 2015.,” no. July. pp. 0–64, 2015. [Online]. Available: https://www.isa.org/products/ansi-isa-101-01-2015-human-machine-interfaces-for

[45] Centro de Talleres Tecnológicos FISEI, “Misión y Visión.” [Online]. Available: https://ctt-talleresfisei.uta.edu.ec/about.php

[46] G. Santamaría, “Do ciencia #5,” *DoCiencia*, no. 6, 2022.

[47] J. Aquino, “Diseño de un taladro de columna automatizado para controlar la profundidad de perforación y la sujeción de piezas mediante PLC,” 2022. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/20.500.12423/5376

[48] N. Campo and C. Ipiales, “Diseño y construcción de una máquina automatica trituradora de mazorca de maiz,” 2022. [Online]. Available:

http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23785

[49] N. Leonil, E. Calla Durandal, and B. San Pablo, “Sistema de control de mano robótica replicadora de movimientos para manipular sustancias químicas Control system for robotic hand to replicate movements to manipulate chemical substances,” vol. 9, pp. 82–114, 2019, [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23785

[50] G. González-Filgueira and F. J. R. Permuy, “Automation of an industrial power plant through distributed control,” *RISTI - Rev. Iber. Sist. e Tecnol. Inf.*, vol. 2018, no. 27, pp. 1–17, 2018, doi: 10.17013/risti.27.1-17.

[51] I. Tomar, I. Sreedevi, and N. Pandey, “PLC and SCADA based Real Time Monitoring and Train Control System for the Metro Railways Infrastructure,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 129, no. 1, pp. 521–548, 2023, doi: 10.1007/s11277-022-10109-1.

[52] P. Maldonado, “Diseño e implementación de un sistema SCADA-IIoT de monitoreo de paros en máquinas de tejido, para reducir tiempos de corte,” Universidad Nacional de Chimborazo, 2023. [Online]. Available: http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/11188

[53] D. Gálvez and D. Ricaurte, “Propuesta de implementación de un Sistema SCADA en una máquina empaquetadora mediante el uso del software InduSoft en una empresa de alimentos,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2022. [Online]. Available: http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54268

[54] A. Jaramillo, “Diseño de un Sistema SCADA como Herramienta de Gestión y Control de Mantenimiento de los Equipos Electromecánicos para el Área ELPO de la Empresa Aymesa,” Universidad de las Fuerzas Armadas, 2021. [Online]. Available: http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/23642/1/T-ESPE-044248.pdf

[55] I. González, A. J. Calderón, J. Figueiredo, and J. M. C. Sousa, “A literature survey on open platform communications (OPC) applied to advanced industrial environments,” *Electron.*, vol. 8, no. 5, pp. 1–29, 2019, doi: 10.3390/electronics8050510.

[56] A. Serhane, M. Raad, R. Raad, and W. Susilo, “Programmable logic controllers based systems (PLC-BS): vulnerabilities and threats,” *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 8, pp. 1–12, 2019, doi: 10.1007/s42452-019-0860-2.

[57] C. J. Ojeda Jiménez and R. Aguilera Vargas, “Reengineering of the pumping system and implementation of a SCADA for the supervision and automatic control of the fire fighting system, at the Petróleos Paraguayos PETROPAR industrial plant,” *Rev. Científica la UCSA*, vol. 8, no. 3, pp. 20–38, 2021, doi: 10.18004/ucsa/2409-8752/2021.008.03.020.

[58] J. Herrera, M. Barrios, and S. Pérez, “Diseño e implementación de un sistema SCADA inalámbrico mediante la tecnología zigbee y arduino,” *Prospectiva*, vol. 12, no. 2, p. 65, 2014, doi: 10.15665/rp.v12i2.290.

[59] E. Pérez, “Los sistemas SCADA en la automatización industrial,” *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 28, no. 4, p. 3, 2015, doi: 10.18845/tm.v28i4.2438.

[60] Sielco Sistemi, “ SCADA.” Accessed: Oct. 15, 2023. [Online]. Available: https://www.sielcosistemi.com/sp/que-es- SCADA.html

ANEXOS

松乐继电器 ® SONGLE RELAY	RELAY ISO9002	SRD



1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.
  (Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

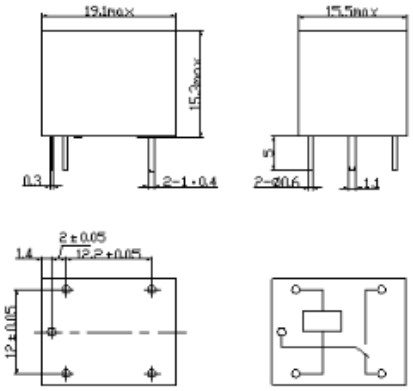
3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	03、05、06、09、12、24、48VDC	S:Sealed type	L:0.36W	A:1 form A
				B:1 form B
		F:Flux free type	D:0.45W	C:1 form C

4. RATING

CCC	FILE NUMBER:CH0052885-2000	7A/240VDC
CCC	FILE NUMBER:CH0036746-99	10A/250VDC
UL /CUL	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
TUV	FILE NUMBER: R9933789	10A/240VAC 28VDC

5. DIMENSION(unit:mm) DRILLING(unit:mm) WIRING DIAGRAM



Anexo 1. Hoja de datos modulo relé

Solenoid valve(5/2 way,5/3 way)

AirTAC

4V200 Series



Ordering code

4V 2 10 08 A □ T – W

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8)

① Model
4V: Solenoid valve (5/2, 5/3 way)

② Code
2: 200 Series

③ Valve type
10: Single solenoid 5/2 way
20: Double solenoid 5/2 way
30C: Double solenoid 5/3 way closed center
30E: Double solenoid 5/3 way exhaust center
30P: Double solenoid 5/3 way pressure center

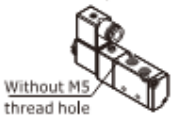
④ Port size
06: 1/8"
08: 1/4"

⑤ Voltage
A: AC220V
B: DC24V
C: AC110V
E: AC24V
F: DC12V

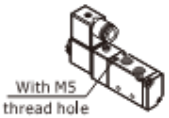
⑥ Electrical entry
Blank: Terminal
I: Grommet

⑦ Thread type
T: NPT

⑧ Pilot type
Blank: Internal pilot



W: External pilot



Please refer to 57 for manifold specification and the order way.

Specification

Model	4V210-06 4V220-06	4V230C-06 4V230E-06 4V230P-06	4V210-08 4V220-08	4V230C-08 4V230E-08 4V230P-08
Fluid	Air(to be filtered by 40μm filter element)			
Acting	Internal pilot or external pilot			
Port size [Note1]	In=Out=Exhaust=1/8"		In=Out=1/4" Exhaust=1/8"	
Orifice size	14.0mm² (Cv=0.78)	12.0mm² (Cv=0.67)	16.0mm² (Cv=0.89)	12.0mm² (Cv=0.67)
Valve type	5 port 2 position	5 port 3 position	5 port 2 position	5 port 3 position
Operating pressure	21~114psi(0.15~0.8MPa)			
Operating pressure	175psi(1.2MPa)			
Temperature	-20~70℃			
Material of body	Aluminum alloy			
Lubrication [Note2]	Not required			
Max. frequency [Note3]	5 cycle/sec	3 cycle/sec	5 cycle/sec	3 cycle/sec
Weight (g)	4V210-06:220 4V220-06:320	360	4V210-08:220 4V220-08:320	360

[Note1] NPT thread is available.
[Note2] Once lubricated air is used, continue with same medium to optimize valve life span. Lubricants like ISO VG32 or equivalent are recommended.
[Note3] The maximum actuation frequency is in the no-load state.

Anexo 2. Hoja de datos electroválvula solenoide.

E2E-X□Y□ AC 2-Wire Models

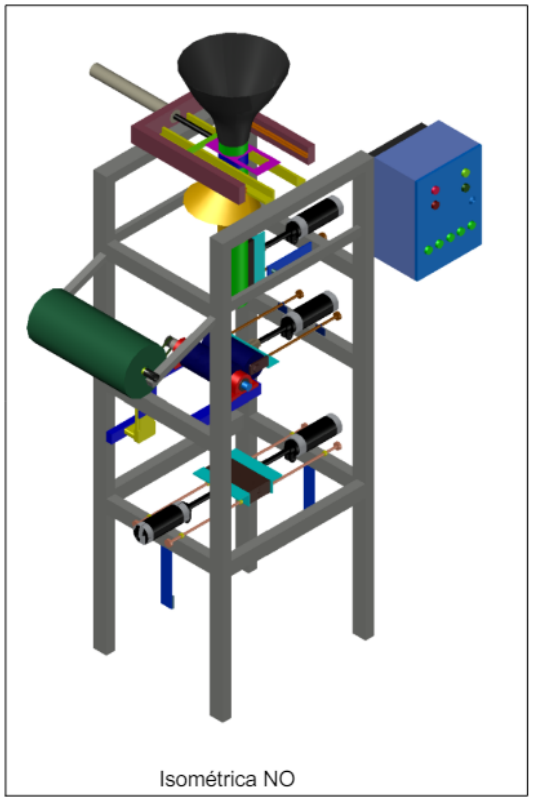
Item	Size	M8		M12		M18		M30	
	Shielded	Shielded	Unshielded	Shielded	Unshielded	Shielded	Unshielded	Shielded	Unshielded
	Model	E2E-X1R5Y□	E2E-X2MY□	E2E-X2Y□	E2E-X5MY□	E2E-X5Y□	E2E-X10MY□	E2E-X10Y□	E2E-X18MY□
Sensing distance		1.5 mm ±10%	2 mm ±10%		5 mm ±10%		10 mm ±10%		18 mm ±10%
Set distance		0 to 1.2 mm	0 to 1.6 mm		0 to 4 mm		0 to 8 mm		0 to 14 mm
Differential travel		10% max. of sensing distance							
Detectable object		Ferrous metal (The sensing distance decreases with non-ferrous metal. Refer to *Engineering Data* on page 18.)							
Standard sensing object		Iron, 8 × 8 × 1 mm	Iron, 12 × 12 × 1 mm		Iron, 15 × 15 × 1 mm	Iron, 18 × 18 × 1 mm	Iron, 30 × 30 × 1 mm		Iron, 54 × 54 × 1 mm
Response frequency		25 Hz							
Power supply voltage (operating voltage range)*1		24 to 240 VAC (20 to 264 VAC), 50/60 Hz							
Leakage current		1.7 mA max.							
Control output	Load current *2	5 to 100 mA		5 to 200 mA		5 to 300 mA			
	Residual voltage	Refer to *Engineering Data* on page 19.							
Indicators		Operation indicator (red)							
Operation mode (with sensing object approaching)		Y1 Models: NO Y2 Models: NC	Refer to the timing charts under *I/O Circuit Diagrams* on page 21 for details.						
Protection circuits		Surge suppressor							
Ambient temperature range *1*2		Operating/Storage: –25 to 70°C (with no icing or condensation)		Operating/Storage: –40 to 85°C (with no icing or condensation)					
Ambient humidity range		Operating/storage: 35% to 95% (with no condensation)							
Temperature influence		±10% max. of sensing distance at 23°C in the temperature range of –25 to 70°C		±15% max. of sensing distance at 23°C in the temperature range of –40 to 85°C. ±10% max. of sensing distance at 23°C in the temperature range of –25 to 70°C					
Voltage influence		±1% max. of sensing distance at rated voltage in the rated voltage ±15% range							
Insulation resistance		50 MΩ min. (at 500 VDC) between current-carrying parts and case							
Dielectric strength		4,000 VAC (M8 Models: 2,000 VAC), 50/60 Hz for 1 min between current-carrying parts and case							
Vibration resistance		Destruction: 10 to 55 Hz, 1.5-mm double amplitude for 2 hours each in X, Y, and Z directions							
Shock resistance		Destruction: 500 m/s² 10 times each in X, Y, and Z directions		Destruction: 1,000 m/s² 10 times each in X, Y, and Z directions					
Degree of protection		Pre-wired Models: IEC 60529 IP67, in-house standards: oil-resistant Connector Models: IEC 60529 IP67							
Connection method		Pre-wired Models (Standard cable length: 2 m) and Connector Models							
Weight (packed state)	Pre-wired Models Model	Approx. 60 g		Approx. 70 g		Approx. 130 g		Approx. 175 g	
	Connector Models	Approx. 15 g		Approx. 25 g		Approx. 40 g		Approx. 90 g	
Materials	Case	Stainless steel (SUS303)		Nickel-plated brass					
	Sensing surface	PBT							
	Clamping nuts	Nickel-plated brass							
	Toothed washer	Zinc-plated iron							
Accessories		Instruction manual							

*1. When supplying 24 VAC to any of the above models, make sure that the operating ambient temperature range is at least –25°C.
*2. When using an M18 or M30 Connector Model at an ambient temperature between 70 and 85°C, make sure that the Sensor has a control output (load current) of 5 to 200 mA max.

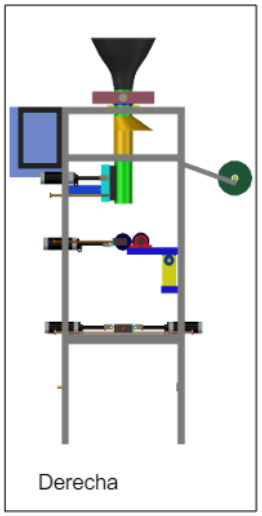
Anexo 3. Hoja de datos sensor inductivo Omrom E2E X5Y1 2M

Número de modelo	Serie de la marca,
Dimensiones externas	M18x1x67, 5
Método de detección	Retrorreflectante
Distancia de detección	2m ± 10%
Ajuste de sensibilidad	Ajustable
Suministro de voltaje	6-36Vdc; 90-250Vac 50/60Hz
Corriente nominal de salida	Tipo N.P: 300mA máx.; Tipo A: 400mA; Tipo J: 2A máx. (vida de contacto: 100000 veces)
Objeto sensor	Objeto opaco
Frecuencia de respuesta	300Hz
Tiempo de respuesta	1,5 ms máx.
Fuente de luz	LED infrarrojo (660 nm)
Corriente de fuga	Tipo N.P: 20mA máx.; Tipo A: 1,7 mA máx.
Circuito de protección	CC: protección de conexión inversa, supresor de sobretensiones, protección contra cortocircuitos AC: Supresor de sobretensión
Resistencia de aislamiento	50 MΩ min. a 500 V CC entre piezas energizadas y carcasa
Fuerza dieléctrica	1000 VAC máx., 50 / 60Hz durante 1 min entre piezas energizadas y carcasa
Influencia temperatura	± 10% máx. de distancia de detección a 23 °C dentro del rango de temperatura de-25 °C a 60 °C ± 15% máx. de distancia de detección a 23 °C dentro del rango de temperatura de-30 °C a 65 °C
Influencia del voltaje	± 10% máx. de distancia de detección en rango de voltaje nominal ± 15%
Clasificación IP	IP67
Material	Carcasa: ABS; superficie de detección (lente): PMMA
Temperatura operativa	-30 a 65 °C (sin hielo ni condensación)
Humedad de funcionamiento	Almacenamiento: 35% a 95% (sin condensación)

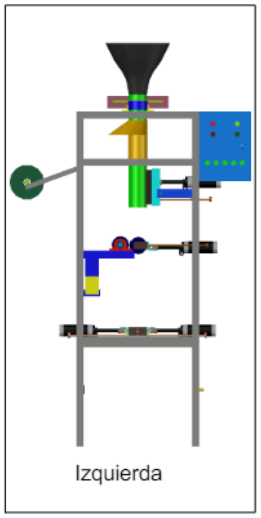
Anexo 4. Especificaciones técnicas sensor Réflex E3F-R2N12



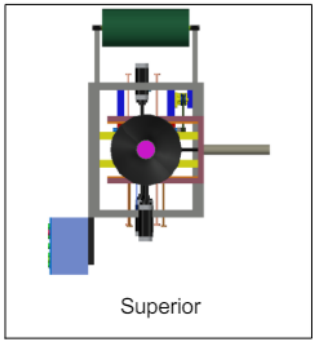
Isométrica NO



Derecha



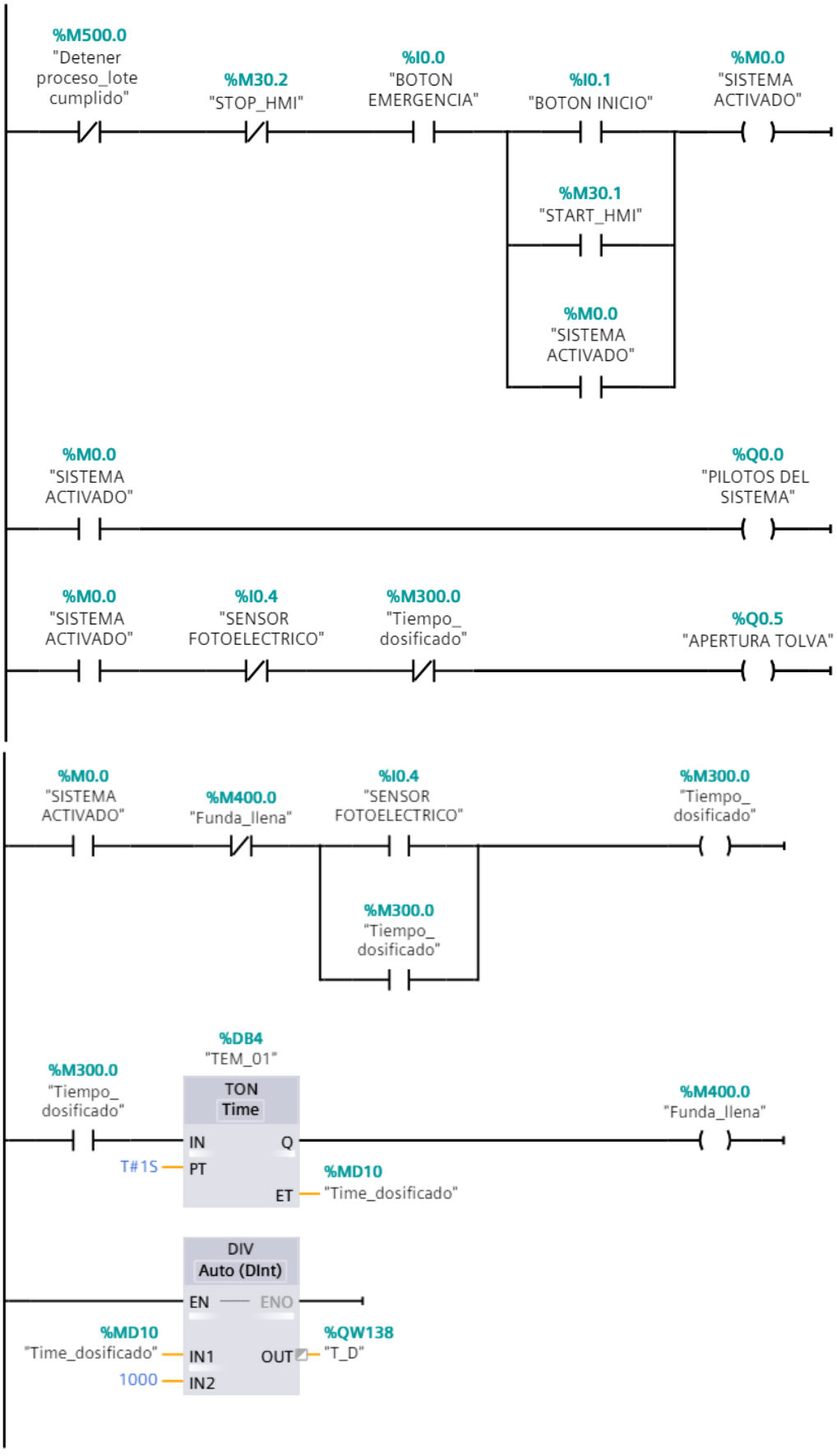
Izquierda

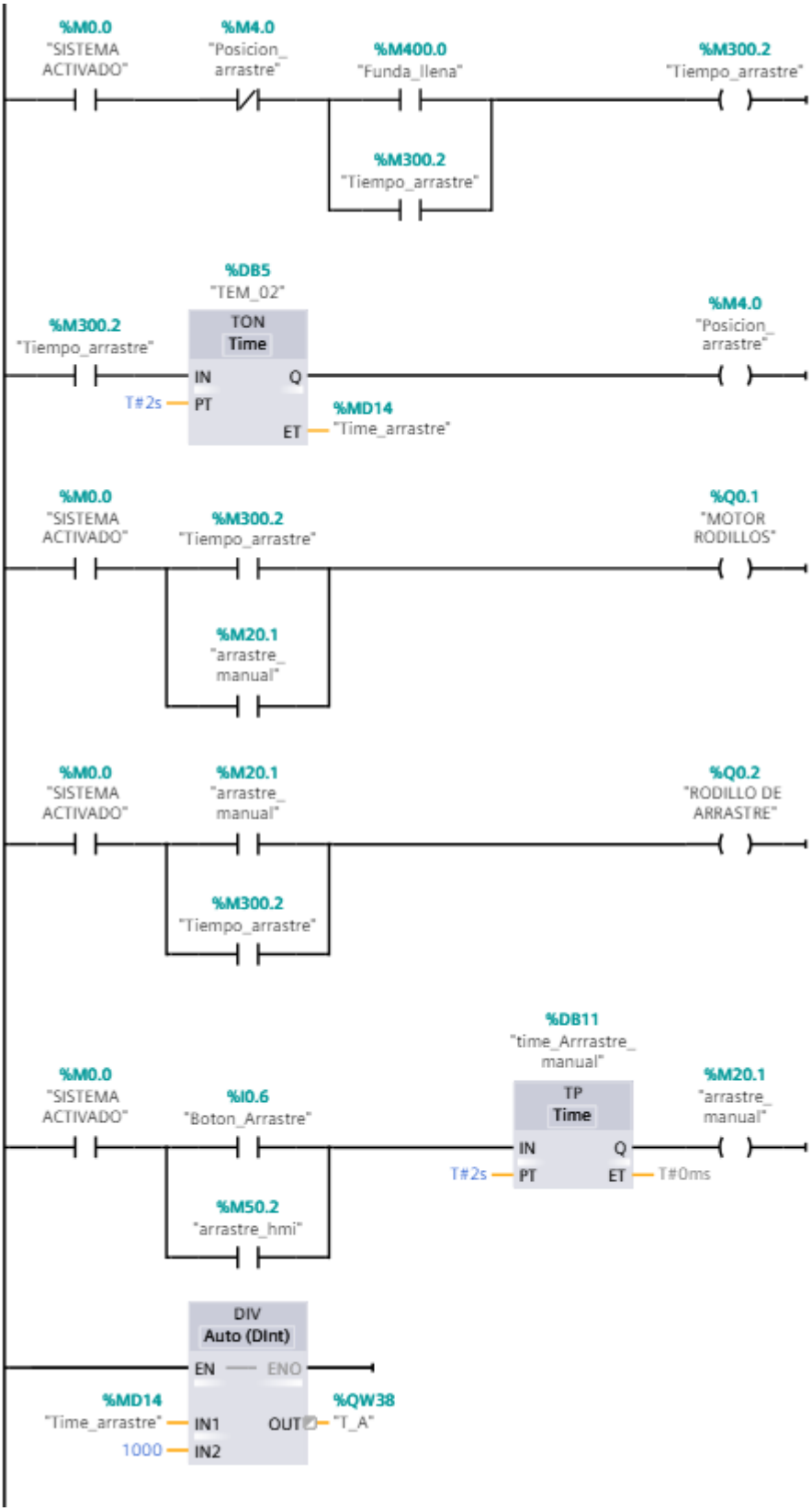


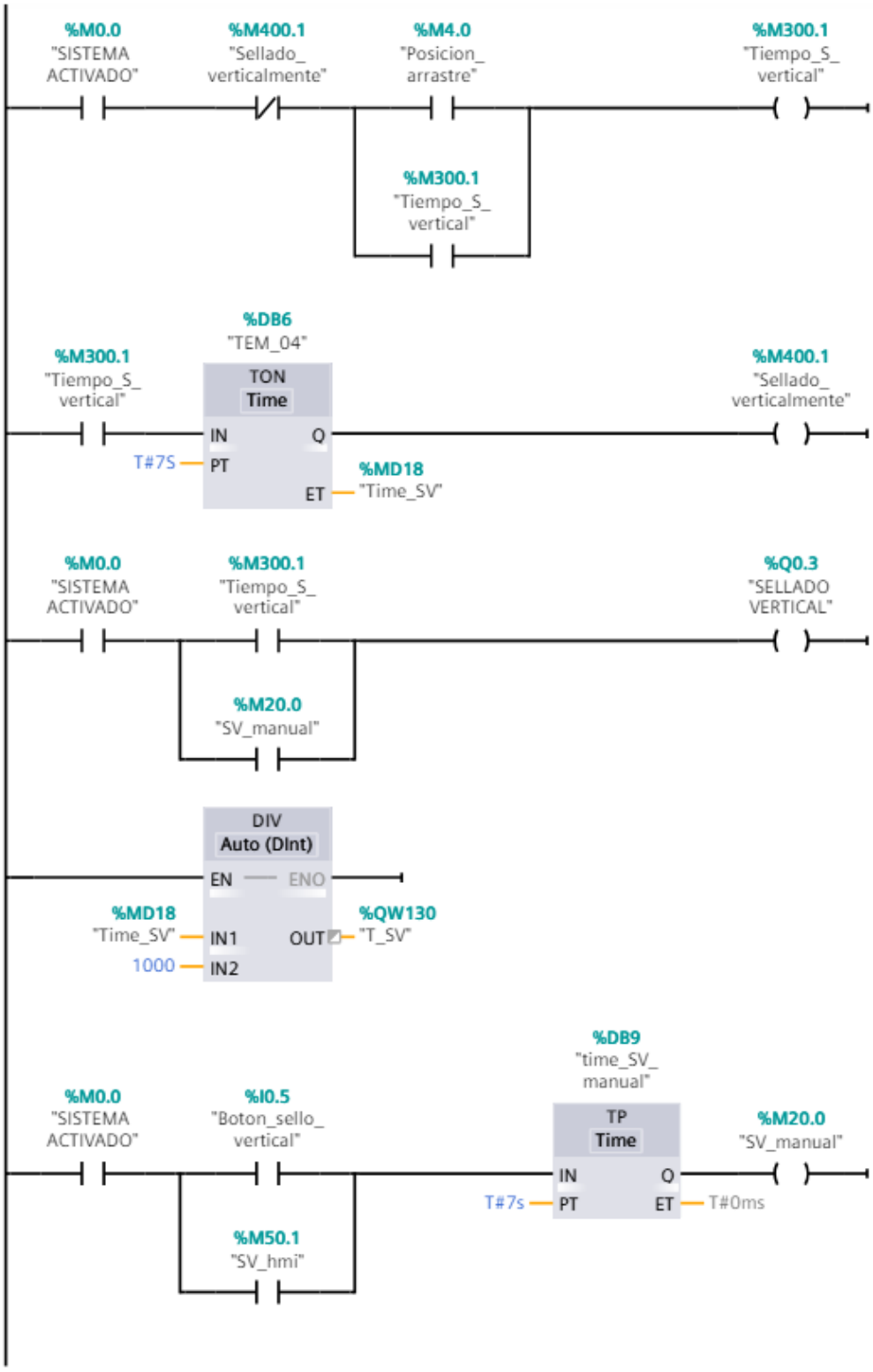
Superior

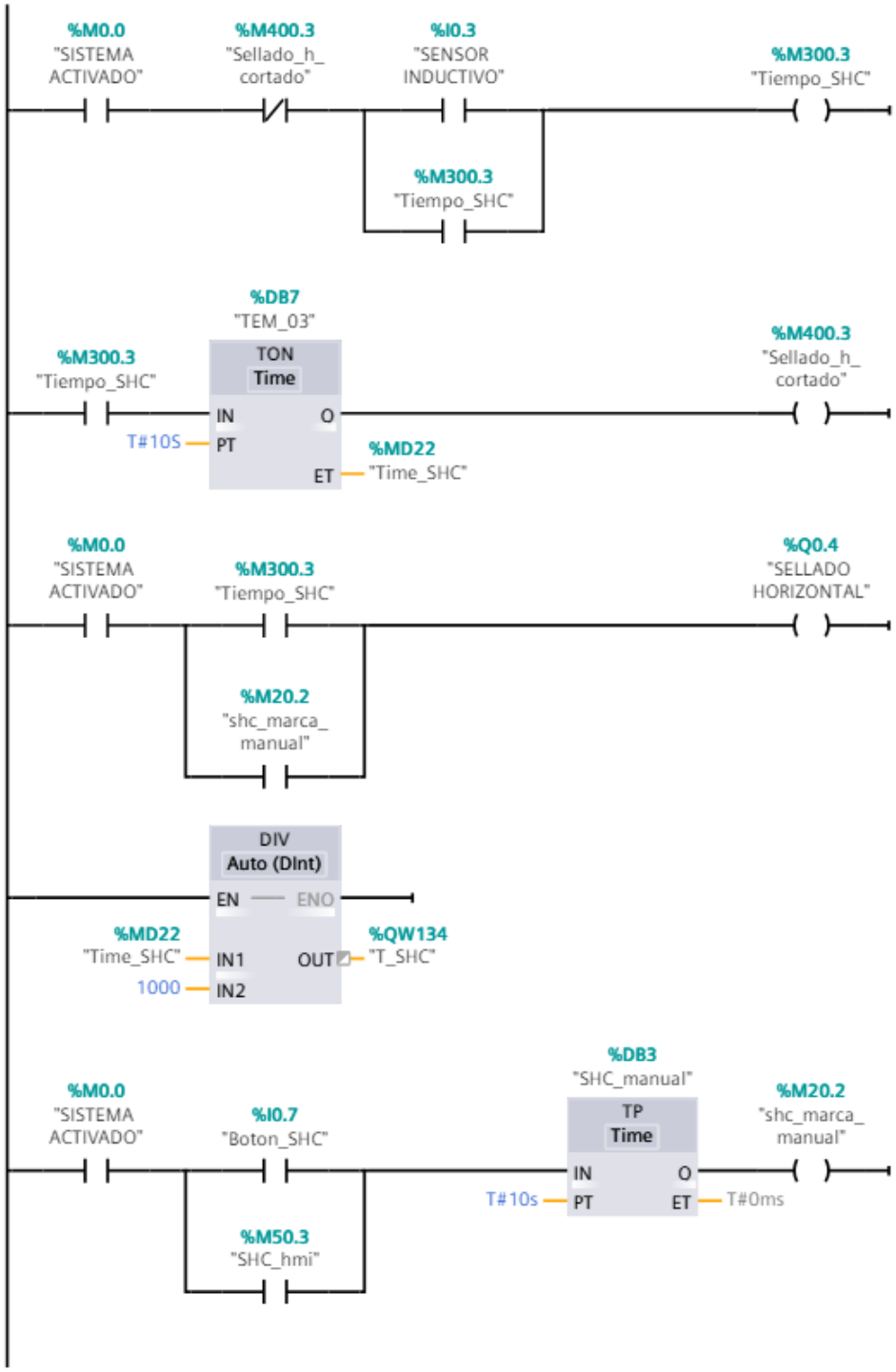
UNIDADES	DIBUJADO	Llamba;R	UTA - FISEI
cm	REVISADO	Llamba;R	
	FECHA	15/10/2023	
ESCALA	LAMINA/TAREA		N° DE PLANO
1:2	MÁQUINA EMPACADORA DE GRANO		6/6

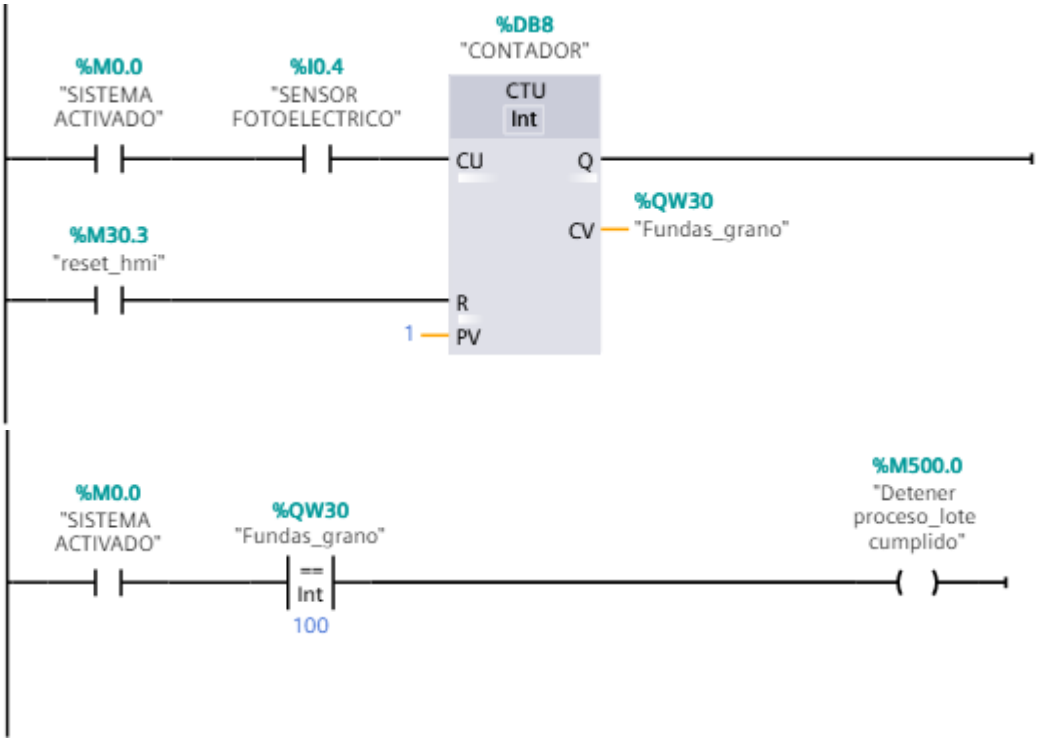
Anexo 5. Diseño 3D prototipo de máquina enfundadora.

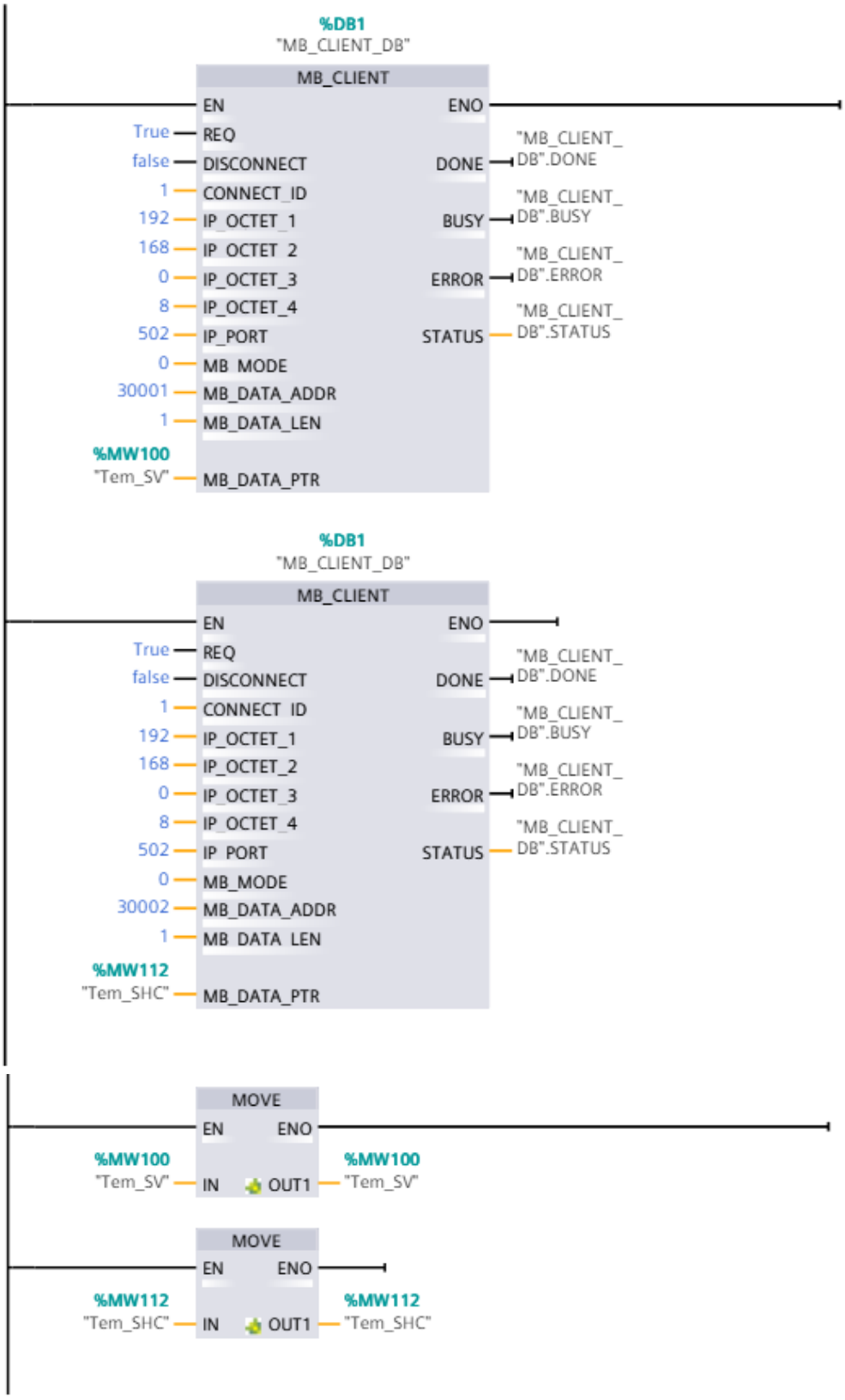

%M500.0
"Detener proceso_lote cumplido"
%M30.2
"STOP_HMI"
%I0.0
"BOTON EMERGENCIA"
%I0.1
"BOTON INICIO"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%M30.1
"START_HMI"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%Q0.0
"PILOTOS DEL SISTEMA"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%I0.4
"SENSOR FOTOELECTRICO"
%M300.0
"Tiempo_ dosificado"
%Q0.5
"APERTURA TOLVA"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%M400.0
"Funda_llena"
%I0.4
"SENSOR FOTOELECTRICO"
%M300.0
"Tiempo_ dosificado"
%M300.0
"Tiempo_ dosificado"
%DB4
"TEM_01"
TON
Time
IN
Q
T#1S
PT
ET
%MD10
"Time_dosificado"
%M300.0
"Tiempo_ dosificado"
%M400.0
"Funda_llena"
DIV
Auto (Dint)
EN
ENO
%MD10
"Time_dosificado"
IN1
OUT
%QW138
"T_D"
1000
IN2


%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%M4.0
"Posicion_ arrastre"
%M400.0
"Funda_llena"
%M300.2
"Tiempo_arrastre"
%M300.2
"Tiempo_arrastre"
%DB5
"TEM_02"
TON
Time
%M300.2
"Tiempo_arrastre"
IN
Q
T#2s
PT
ET
%MD14
"Time_arrastre"
%M4.0
"Posicion_ arrastre"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%M300.2
"Tiempo_arrastre"
%Q0.1
"MOTOR RODILLOS"
%M20.1
"arrastre_ manual"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%M20.1
"arrastre_ manual"
%Q0.2
"RODILLO DE ARRASTRE"
%M300.2
"Tiempo_arrastre"
%DB11
"time_Arrrastre_ manual"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%I0.6
"Boton_Arrastre"
TP
Time
%M20.1
"arrastre_ manual"
IN
Q
T#2s
PT
ET
T#0ms
%M50.2
"arrastre_hmi"
DIV
Auto (DInt)
EN
ENO
%MD14
"Time_arrastre"
IN1
OUT
%QW38
"T_A"
1000
IN2


%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%M400.1
"Sellado_ verticalmente"
%M4.0
"Posicion_ arrastre"
%M300.1
"Tiempo_S_ vertical"
%M300.1
"Tiempo_S_ vertical"
%DB6
"TEM_04"
TON
Time
IN
Q
T#7S
PT
ET
%MD18
"Time_SV"
%M400.1
"Sellado_ verticalmente"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%M300.1
"Tiempo_S_ vertical"
%Q0.3
"SELLADO VERTICAL"
%M20.0
"SV_manual"
DIV
Auto (Dint)
EN
ENO
%MD18
"Time_SV"
IN1
OUT
%QW130
"T_SV"
1000
IN2
%DB9
"time_SV_ manual"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%I0.5
"Boton_sello_ vertical"
TP
Time
IN
Q
T#7s
PT
ET
T#0ms
%M20.0
"SV_manual"
%M50.1
"SV_hmi"


%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%M400.3
"Sellado_h_ cortado"
%I0.3
"SENSOR INDUCTIVO"
%M300.3
"Tiempo_SHC"
%M300.3
"Tiempo_SHC"
%DB7
"TEM_03"
%M300.3
"Tiempo_SHC"
TON
Time
IN
Q
T#10S
PT
ET
%MD22
"Time_SHC"
%M400.3
"Sellado_h_ cortado"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%M300.3
"Tiempo_SHC"
%Q0.4
"SELLADO HORIZONTAL"
%M20.2
"shc_marca_ manual"
DIV
Auto (Dint)
EN
ENO
%MD22
"Time_SHC"
IN1
OUT
%QW134
"T_SHC"
1000
IN2
%DB3
"SHC_manual"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%I0.7
"Boton_SHC"
TP
Time
%M20.2
"shc_marca_ manual"
IN
Q
T#10s
PT
ET
T#0ms
%M50.3
"SHC_hmi"


%DB8
"CONTADOR"
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%I0.4
"SENSOR FOTOELECTRICO"
CTU
Int
CU
Q
%QW30
CV
"Fundas_grano"
%M30.3
"reset_hmi"
R
1
PV
%M0.0
"SISTEMA ACTIVADO"
%QW30
"Fundas_grano"
==
Int
100
%M500.0
"Detener proceso_lote cumplido"



Anexo 6. Programación completa del sistema de enfundado.

Prototipo físico máquina para enfundado	
	
1	Tolva de dosificado
2	Tablero de control de temperatura
3	Tablero de control de etapas de enfundado
4	Tubo dosificador
5	Sellador vertical
6	Film plástico tubular
7	Rodillos de arrastre
8	Cilindros de sellador horizontal
9	Censado de salida de productos
10	Rollo de film plástico

Anexo 7. Prototipo físico de máquina para enfundado

Archivos necesarios para la puesta en marcha del prototipo

https://drive.google.com/drive/folders/1uhGa4zaHHstekGyphktzOMEUxsuiOQlp?usp=sharing