



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
AUTOMATIZADO DE COLOCACIÓN DE TAPAS Y SELLOS DE
SEGURIDAD PLÁSTICO PARA FRASCOS DE VIDRIO
MULTIPROPÓSITO EN UN SISTEMA DE ENVASADO**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

BRAYAN ALEXIS PILAMUNGA HURTADO

EDUARDO XAVIER AMAGUAYO ARMIJO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
AUTOMATIZADO DE COLOCACIÓN DE TAPAS Y SELLOS DE
SEGURIDAD PLÁSTICO PARA FRASCOS DE VIDRIO
MULTIPROPÓSITO EN UN SISTEMA DE ENVASADO**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: BRAYAN ALEXIS PILAMUNGA HURTADO

EDUARDO XAVIER AMAGUAYO ARMIJO

DIRECTOR: Ing. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA

Riobamba – Ecuador

2022

©2021, Brayan Alexis Pilamunga Hurtado & Eduardo Xavier Amaguayo Armijo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Nosotros, BRAYAN ALEXIS PILAMUNGA HURTADO y EDUARDO XAVIER AMAGUAYO ARMIJO declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

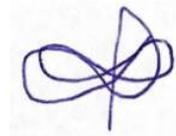
Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de febrero de 2022



Brayan Alexis Pilamunga Hurtado

025007454-9



Eduardo Xavier Amaguayo Armijo

060389382-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular: Tipo Dispositivo Tecnológico: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE COLOCACIÓN DE TAPAS Y SELLOS DE SEGURIDAD PLÁSTICO PARA FRASCOS DE VIDRIO MULTIPROPÓSITO EN UN SISTEMA DE ENVASADO**, realizado por los señores **EDUARDO XAVIER AMAGUAYO ARMIJO** y **BRAYAN ALEXIS PILAMUNGA HURTADO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

22 de febrero de 2022

Ing. Marco Antonio Viteri Barrera

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

22 de febrero de 2022

Ing. Jorge Luis Hernández Ambato, PhD.

**MIEMBRO DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

22 de febrero de 2022

DEDICATORIA

El presente Trabajo de integración Curricular se lo dedico primero a Dios quien me ha permitido continuar en este camino y me ha brindado todo lo que tengo a mi alrededor, a toda mi familia quienes me han apoyado y a mis padres Eduardo y Cecilia quienes han sabido guiarme para convertirme en la persona que hoy soy y a quienes deseo enorgullecer con cada uno de mis logros, a mi hermano Isaac de quien espero ser un ejemplo a seguir y también su guía cuando me necesite.

Eduardo

El presente trabajo y al mismo tiempo el logro que he alcanzado se lo dedico a mis padres y hermanos; en especial a mi hermana Karina que, gracias a su esfuerzo y trabajo, me ha dado la oportunidad de superarme y crecer a nivel personal y profesional; que sumado al apoyo incondicional que ha sabido brindarme durante todo el trayecto de este proceso formativo en esta etapa de mi vida, me ha sido posible llegar hasta este punto y cumplir con este propósito.

Brayan

AGRADECIMIENTO

Agradecemos de manera profunda y sincera a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por acogernos durante todo este tiempo y brindarnos la oportunidad de desarrollarnos como profesionales, a la Escuela de Ingeniería Electrónica y Automatización por permitirnos desarrollar nuestro trabajo de integración curricular en el Laboratorio de Automatización, a todos los docentes de la Facultad de Informática y Electrónica en especial a quienes fueron parte de nuestro proceso formativo por el empeño y dedicación que han sabido mostrar a la hora de compartir y transmitir sus conocimientos en cada semestre, y de manera muy especial agradecemos a nuestro tutor Ing. Marco Viteri B. y al miembro del trabajo de integración curricular Ph.D. Jorge Hernández A. quienes nos han guiado y ayudado a culminar todo este proceso.

Eduardo & Brayan

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Automatismo o Sistema de Control.....	5
1.2. Estructura de un Automatismo.....	5
1.3. Tecnologías utilizadas en la Automatización.....	6
1.4. Elementos de un sistema electroneumático.....	6
<i>1.4.1. Producción de aire y redes de distribución.....</i>	<i>6</i>
<i>1.4.1.1. Unidad compresora de aire.....</i>	<i>6</i>
<i>1.4.1.2. Redes y líneas de aire comprimido.....</i>	<i>6</i>
<i>1.4.2. Actuadores neumáticos.....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.2.1. Cilindros neumáticos.....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.2.2. Cálculo de cilindros neumáticos.....</i>	<i>8</i>
<i>1.4.3. Dispositivos de interfaz.....</i>	<i>10</i>
<i>1.4.3.1. Electroválvula monoestable.....</i>	<i>10</i>
<i>1.4.3.2. Electroválvula biestable.....</i>	<i>10</i>
<i>1.4.4. Elementos neumáticos auxiliares.....</i>	<i>11</i>
<i>1.4.4.1. Distribuidores de aire.....</i>	<i>11</i>
<i>1.4.4.2. Racores.....</i>	<i>11</i>
<i>1.4.4.3. Mangueras.....</i>	<i>11</i>
1.5. Elementos de mando.....	11
<i>1.5.1. Interruptores.....</i>	<i>12</i>
<i>1.5.2. Conmutadores.....</i>	<i>12</i>

1.5.3.	<i>Pulsadores</i>	12
1.5.4.	<i>Identificación de los elementos de mando</i>	12
1.6.	Elementos de potencia y actuadores eléctricos	13
1.6.1.	<i>Motores de corriente alterna</i>	13
1.6.2.	<i>Motores de corriente continua</i>	13
1.6.3.	<i>Relé de estado sólido</i>	13
1.6.4.	<i>Relés auxiliares</i>	13
1.6.5.	<i>Interruptor automático</i>	14
1.6.6.	<i>Variador de frecuencia</i>	14
1.7.	Elementos Captadores o sensores	14
1.7.1.	<i>Sensores de proximidad</i>	14
1.7.1.1.	<i>Sensores de proximidad capacitivos</i>	14
1.7.1.2.	<i>Sensores de proximidad inductivos</i>	15
1.7.1.3.	<i>Sensores de proximidad ultrasónicos</i>	15
1.7.1.4.	<i>Sensores de proximidad fotoeléctricos</i>	15
1.7.1.5.	<i>Sensores de proximidad magnéticos</i>	15
1.7.2.	<i>Conexión de los sensores de proximidad</i>	15
1.7.2.1.	<i>Conexión a dos hilos</i>	15
1.7.2.2.	<i>Conexión a tres hilos</i>	16
1.8.	Elementos para procesamiento de información	16
1.8.1.	<i>Controlador lógico programable (PLC)</i>	16
1.8.1.1.	<i>Estructura de un PLC</i>	16
1.8.1.2.	<i>Arquitectura interna de un PLC</i>	17
1.8.1.3.	<i>Clasificación de los PLC's</i>	18
1.8.2.	Programación de un PLC	18
1.8.2.1.	<i>Diagramas de escalera (Ladder)</i>	18
1.8.2.2.	<i>Diagramas de funciones lógicas</i>	20
1.8.2.3.	<i>Grafcet</i>	20
1.9.	Elementos software	22
1.9.1.	<i>Protocolo de comunicación Modbus</i>	22
1.9.2.	<i>EcoStruxure Machine Expert-Basic</i>	22
1.9.3.	<i>Diseño asistido por ordenador (CAD)</i>	22
1.9.4.	<i>Servidor Lookout</i>	23

1.9.5.	Sistemas SCADA	23
1.9.6.	HMI	23
1.10.	Cuadros eléctricos	23
1.10.1.	Envolvente	24
1.10.2.	Carriles para soporte de dispositivos	24
1.10.3.	Canaletas perforadas	24
1.10.4.	Bornes de conexión	25
1.10.5.	Terminales o punteras	25
1.10.6.	Cableado	26
1.11.	Materiales de termo sellado	26
1.11.1.	Termosellado	26
1.11.2.	Envases	27
1.11.3.	Sellos de seguridad plásticos	27

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	28
2.1.	Estado de la máquina actual	28
2.2.	Requerimientos del Sistema	28
2.3.	Concepción del funcionamiento general del sistema automatizado	29
2.4.	Características del envase utilizado en el diseño	30
2.5.	Diseño del prototipo	30
2.6.	Selección de componentes a utilizar en el prototipo	34
2.6.1.	Dispositivo de control	35
2.6.1.1.	Autómata programable TM221CE24T	35
2.6.2.	Dispositivos de adquisición de datos	36
2.6.2.1.	Sensores magnéticos	36
2.6.2.2.	Sensores Óptico Taiss/11.8 in ajustable	36
2.6.3.	Actuadores	37
2.6.3.1.	Electroválvula Baomain de 8 espacios	37
2.6.3.2.	Cilindro MA 16X 100-S	38
2.6.3.3.	Cilindro doble TN 10X40	39
2.6.3.4.	Motor CORE HEX	39

2.6.4.	<i>Fuente de energía</i>	40
2.6.4.1.	<i>Fuente conmutada</i>	40
2.7.	Dispositivos de potencia	41
2.7.1.	<i>Motor Siemens</i>	41
2.7.2.	<i>Variador de frecuencia Lenze smd</i>	42
2.7.3.	<i>Relé de estado sólido</i>	43
2.7.4.	<i>Relé auxiliar Telemecanique</i>	43
2.7.5.	<i>Pistola de calor RX-8033</i>	44
2.8.	Construcción y ensamble del dispositivo	44
2.8.1.1.	<i>Módulo de colocación de tapas</i>	44
2.8.1.2.	<i>Módulo de enroscado de tapas</i>	45
2.8.1.3.	<i>Módulo de sellado del envase</i>	45
2.8.1.4.	<i>Integración de los módulos en el sistema</i>	46
2.8.1.5.	<i>Integración de sensores y cilindros neumáticos en el sistema</i>	46
2.9.	Esquema de conexiones del dispositivo	47
2.10.	Implementación de los esquemas de conexión	48
2.10.1.	<i>Construcción y ensamble del tablero de control</i>	48
2.10.2.	<i>Cableado de las electroválvulas</i>	49
2.10.3.	<i>Conexión de la botonera</i>	50
2.10.4.	<i>Conexión de la banda transportadora</i>	50
2.10.5.	<i>Conexión neumática del sistema</i>	52
2.11.	Programación del dispositivo	52
2.11.1.	<i>E/S utilizadas en la programación</i>	52
2.11.2.	<i>Secuencia de funcionamiento del sistema (Grafcet)</i>	53
2.11.3.	<i>Desarrollo de la aplicación HMI</i>	55
2.11.3.1.	<i>Menú principal</i>	55
2.11.3.2.	<i>Panel de ayuda</i>	56
2.11.3.3.	<i>Panel de proceso</i>	57
2.11.3.4.	<i>Panel de alarmas</i>	57
2.11.4.	<i>Conexión de la aplicación con el PLC</i>	58
2.11.4.1.	<i>Configuración dirección IP</i>	58
2.11.4.2.	<i>Configuración de comunicación Modbus</i>	59

CAPITULO III

3.	PRUEBAS Y RESULTADOS	62
3.1.	Pruebas de funcionamiento de fuente de alimentación	62
3.2.	Pruebas de funcionamiento del PLC TM221CE24T	62
3.2.1.	<i>Pruebas de funcionamiento de entradas del PLC</i>	62
3.2.2.	<i>Pruebas de funcionamiento de salidas del PLC</i>	63
3.3.	Pruebas de funcionamiento de sensores	63
3.3.1.	<i>Prueba de funcionamiento de sensores magnéticos</i>	63
3.3.2.	<i>Prueba de funcionamiento de sensores ópticos</i>	64
3.4.	Prueba de funcionamiento de electroválvulas	65
3.5.	Prueba de funcionamiento de la banda transportadora	65
3.6.	Prueba de conexión entre el computador y el PLC	66
3.7.	Validación de los módulos del sistema	67
3.7.1.	<i>Validación del módulo de colocación de tapas</i>	67
3.7.2.	<i>Validación del módulo de enroscado de tapas</i>	69
3.7.3.	<i>Validación del módulo de sellado de envases</i>	72
3.7.4.	<i>Validación del desempeño del sistema</i>	74
3.8.	Análisis de costos	75
	CONCLUSIONES	76
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Identificación mediante colores de los elementos de mando.....	12
Tabla 2-1:	Direcciones Modbus.	22
Tabla 3-1:	Código de colores para conductores de acuerdo con la norma IEC 60204-1.....	26
Tabla 4-1:	Temperatura de transición vítrea de algunos polímeros	27
Tabla 1-2:	Características del envase utilizado.....	30
Tabla 2-2:	Características principales del PLC TM221CE24T	35
Tabla 3-2:	Características sensor magnético SMC.	36
Tabla 4-2:	Características sensor óptico Taiss/11.8 in ajustable.....	37
Tabla 5-2:	Características electroválvula Baomain.	37
Tabla 6-2:	Características del cilindro neumático MA 16X 100-S	38
Tabla 7-2:	Características del cilindro neumático doble TN 10X40.....	39
Tabla 8-2:	Características del motor CORE HEX	40
Tabla 9-2:	Características del motor Siemens.	41
Tabla 10-2:	Entradas utilizadas en el PLC	52
Tabla 11-2:	Salidas utilizadas en el PLC.....	53
Tabla 12-2:	Significado de las variables utilizadas en el diagrama Grafcet.....	53
Tabla 13-2:	Descripción del funcionamiento del sistema.	55
Tabla 14-2:	Direcciones de memorias utilizadas en el HMI.....	61
Tabla 1-3:	Valores de voltaje medidos en la fuente.....	62
Tabla 2-3:	Rúbrica de calificación para validar el módulo de colocación de tapas.....	68
Tabla 3-3:	Calificaciones de primera prueba de colocación de tapas	68
Tabla 4-3:	Calificaciones de segunda prueba de colocación de tapas.....	68
Tabla 5-3:	Rúbrica de evaluación para validar el módulo de enroscado de tapas	70
Tabla 6-3:	Calificaciones de la primera prueba de enroscado de tapas.....	70
Tabla 7-3:	Calificaciones de la segunda prueba de enroscado de tapas.	71
Tabla 8-3:	Resultados de la primera prueba se sellado de frascos.	72
Tabla 9-3:	Resultados de la Segunda prueba de sellado de frascos.	73
Tabla 10-3:	Resultados de la tercera prueba de sellado de frascos.	73
Tabla 11-3:	Tiempo de tapado y sellado de cada frasco	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Modelo estructural de un sistema automatizado.	5
Figura 2-1:	Estructura de un cilindro neumático.	7
Figura 3-1:	Dibujo y símbolo de un cilindro de simple efecto.	8
Figura 4-1:	Dibujo en sección y símbolo de un cilindro de doble efecto.	8
Figura 5-1:	Velocidad media del émbolo para cilindros estándar.	9
Figura 6-1:	Accionamiento de un cilindro de simple efecto.	10
Figura 7-1:	Accionamiento de un cilindro de doble efecto.	11
Figura 8-1:	Conexión triángulo y conexión estrella para un motor trifásico.	13
Figura 9-1:	Esquema de conexión mixta (alterna y continua).	16
Figura 10-1:	Esquema de conexión de sensores PNP y NPN.	16
Figura 11-1:	Diagrama de boques de un PLC.	17
Figura 12-1:	Arquitectura de un PLC.	18
Figura 13-1:	Nemotecnia gráfica del lenguaje Ladder.	19
Figura 14-1:	Símbolos especiales del lenguaje Ladder.	19
Figura 15-1:	Flujo de ejecución de un programa Ladder.	20
Figura 16-1:	Ejemplo de esquema de funcione lógicas.	20
Figura 17-1:	Diferentes tipos de Grafcet.	21
Figura 18-1:	Clasificación de envolventes.	24
Figura 19-1:	Carriles DIN.	24
Figura 20-1:	Canaletas perforadas.	25
Figura 21-1:	Bornes de conexión.	25
Figura 22-1:	Tipos de terminales.	26
Figura 1-2:	Estado actual de la máquina.	28
Figura 2-2:	Esquema de funcionamiento del sistema automatizado.	29
Figura 3-2:	Diseño del prototipo para colocar la tapa, vista frontal.	31
Figura 4-2:	Diseño del prototipo para colocar la tapa, vista lateral izquierda.	31
Figura 5-2:	Diseño del prototipo para colocar la tapa, vista lateral derecha.	31
Figura 6-2:	Diseño del prototipo para colocar la tapa, vista posterior.	32
Figura 7-2:	Diseño del prototipo para colocar la tapa, vista superior.	32
Figura 8-2:	Diseño del prototipo para enroscar la tapa, vista lateral derecha.	33
Figura 9-2:	Diseño del prototipo para enroscar la tapa, vista lateral izquierda.	33
Figura 10-2:	Diseño del prototipo para enroscar la tapa, vista superior.	34
Figura 11-2:	Diseño del prototipo para sellar el envase.	34
Figura 12-2:	Autómata programable TM221CE24T.	35

Figura 13-2:	Modelos de sensores magnéticos.....	36
Figura 14-2:	Sensor óptico Taiss/11.8 in ajustable.....	37
Figura 15-2:	Set x8 electroválvula Baomain 5/2 vías.....	38
Figura 16-2:	Cilindro neumático MA 16X 100-S.	38
Figura 17-2:	Cilindro neumático doble TN 10X40.	39
Figura 18-2:	Motor CORE HEX.....	40
Figura 19-2:	Fuente conmutada de 24V DC.....	41
Figura 20-2:	Motor trifásico Siemens	42
Figura 21-2:	Variador de frecuencia Lenze smd.	42
Figura 22-2:	Relé de estado sólido.....	43
Figura 23-2:	Relé auxiliar Telemecanique	43
Figura 24-2:	Pistola de calor RX-8033.....	44
Figura 25-2:	Módulo de colocación de tapas ensamblado.....	45
Figura 26-2:	Módulo de enroscado de tapas ensamblado.....	45
Figura 27-2:	Módulo para sellar los envases ensamblado.	46
Figura 28-2:	Estructura final del sistema.	46
Figura 29-2:	Sensores y cilindros integrados en el sistema.	47
Figura 30-2:	Esquema de conexiones del sistema	47
Figura 31-2:	Mecanizado del tablero de control.....	48
Figura 32-2:	Borneras, PLC, fuente e interruptor automático	49
Figura 33-2:	Tablero de control del sistema.....	49
Figura 34-2:	Conexión de las electroválvulas.	50
Figura 35-2:	Conexión de la botonera.....	50
Figura 36-2:	Conexión mecánica de la banda transportadora.	51
Figura 37-2:	Conexión eléctrica de la banda transportadora.	51
Figura 38-2:	Conexión neumática del sistema.	52
Figura 39-2:	Diagrama Grafcet del sistema.....	54
Figura 40-2:	Panel principal de la aplicación HMI del sistema.	56
Figura 41-2:	Panel de ayuda del sistema.	56
Figura 42-2:	Panel de control y monitoreo del sistema.	57
Figura 43-2:	Panel de alarmas del sistema.	58
Figura 44-2:	Configuración de IP de conexión Ethernet.	58
Figura 45-2:	Asignación de IP en el PLC.....	59
Figura 46-2:	Comprobación de conexión generando ping.....	59
Figura 47-2:	Configuración de botones en el HMI.....	60
Figura 48-2:	Conexión de indicadores en el HMI.	60
Figura 1-3:	Programa de prueba de PLC.....	62

Figura 2-3:	Botonera para pruebas de PLC	63
Figura 3-3:	Prueba de salidas de PLC	63
Figura 4-3:	Prueba de sensores magnéticos.....	64
Figura 5-3:	Prueba de sensores ópticos	64
Figura 6-3:	Prueba de funcionamiento de electroválvulas.....	65
Figura 7-3:	Prueba de funcionamiento de motor	65
Figura 8-3:	Prueba de conexión entre el PLC y el computador mediante ping.....	66
Figura 9-3:	Prueba de control de encendido del sistema mediante HMI.	66
Figura 10-3:	Prueba de control de apagado del sistema mediante HMI.	67
Figura 11-3:	Resultados obtenidos con regulador de flujo al 80%.	69
Figura 12-3:	Resultados obtenidos con tiempo activo del motor de 3 segundos.	72
Figura 13-3:	Resultados del sellado con 8 segundos, vista frontal	74
Figura 14-3:	Resultados del sellado con 8 segundos, vista superior.	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Calificaciones de la colocación de tapas	69
Gráfico 2-3: Calificación de enroscado de tapas	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Anexo de programación de PLC

ANEXO B: Datasheet del PLC TM221CE24T

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

PLC	Controlador Lógico Programable
CAD	Diseño Asistido por Ordenador
AC	Indicador de Corriente Alterna
DC	Indicador de Corriente Continua
CPU	Unidad Central de Procesamiento de un computador
RAM	Memoria de un Computador de Acceso Aleatorio
ROM	Memoria de un Computador de Solo Lectura
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones
SFC	Gráfico de control secuencial
SCADA	Supervisión con Control y Adquisición de Datos
HMI	Interfaz Hombre-Máquina
PVC	Cloruro de Polivinilo
PE	Polietileno
PET	Polietileno Tereftalato
HDEP	Polietileno de Alta Densidad
LDPE	Polietileno de Baja Densidad
PS	Poliestireno

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de dotar de un módulo de tapado y sellado semi automatizado a un sistema de envasado instalado en el Laboratorio de Automatización, de la Facultad de Informática y Electrónica, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Posterior a la respectiva revisión bibliográfica acerca de los aspectos más sobresalientes de los sistemas automatizados y en base al dimensionamiento del sistema; se seleccionó los elementos, dispositivos y accesorios necesarios. Después, se realizó el diseño asistido por computador (CAD) de la forma estructural de los módulos de tapado y sellado. Parte de los módulos están contruidos con filamento fundido de ácido poliláctico impresos en 3D, hierro dulce para la estructura del módulo de sellado, además de aluminio perfilado que sirven de soporte para los mismos. El sistema está comandado por el controlador lógico programable (PLC) Modicon TM221CE24T (hardware), el cual utiliza un algoritmo de control elaborado mediante la herramienta Grafcet, programado mediante el lenguaje Ladder e implementado en el software EcoStruxure Machine Expert-Basic. Para el monitoreo del sistema se diseñó una aplicación con interfaz hombre-máquina (HMI) utilizando el Software Lookout V 6.7.1 que se comunica con el PLC y con el proceso mediante el protocolo de comunicación Modbus. Una vez programado y configurado el sistema se realizó las respectivas pruebas para verificar su correcto funcionamiento, y mediante la validación experimental se determinó la configuración adecuada para tapar y sellar los frascos, dando como resultado que el sistema es capaz de procesar 3 frascos en un minuto. Se concluye que el sistema implementado ejecuta muy bien el proceso y cumple con las características funcionales deseadas. En futuros trabajos se recomienda optimizar el algoritmo de control con la finalidad de aumentar el número de frascos procesados.

Palabras clave: <ENVASES MULTIPROPÓSITO>, <SISTEMA DE ENVASADO>, <MÓDULOS DE TAPADO Y SELLADO>, <CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <LOOKOUT (SOFTWARE)>, <INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA (HMI)>, < PLC MODICON TM221CE24T (HARDWARE) >.



Firmado electrónicamente por:
ELIZABETH
FERNANDA AREVALO
MEDINA



0240-DBRA-UPT-2022

SUMMARY

The present research was carried out to provide a module for capping and sealing semi-automated to a packaging system installed in the Laboratory of Automation, of the Faculty of Information Technology and Electronics, at The Escuela Superior Politécnica of Chimborazo. A bibliographic review about the most outstanding aspects of the automated systems and based on a dimensioning system; items were selected, necessary devices, and accessories. Then, computer-aided design (CAD) was performed of the structural form of the capping and sealing modules. Part of the modules is built with 3D printed polylactic acid cast filament, soft iron for the structure of the sealing module, in addition to profiled aluminum used as a support. The system is commanded by the Modicon TM221CE24T programmable logic controller (PLC)(hardware), which uses a control algorithm developed using the Grafset tool programmed using Ladder language and implemented in EcoStruxure Machine software Expert-Basic. For the system monitoring, an application with a human-machine interface (HMI) was designed using the Software Lookout V 6.7.1 to communicate with the PLC and the process by the Modbus communication protocol. Once the system was programmed and configured, the respective tests were carried out to verify its proper functioning. Through the experimental validation, the appropriate configuration was determined to cover and seal the bottles; as a result, the system is capable of processing three bottles in one minute. It is concluded that the implemented system executes the process very well and complies with the characteristics desired functional. In future research, it is recommended to optimize the control algorithm to increase the number of bottles processed.

Keywords: <PACKAGING SYSTEM>, <MULTIPURPOSE PACKAGING>, <CAPPING AND SEALING MODULES>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <LOOKOUT (SOFTWARE)>, <HUMAN-MACHINE INTERFACE (HMI)>, <PLCMODICON TM221CE24T (HARDWARE) >



INTRODUCCIÓN

La gran variedad de fabricantes de controladores industriales (PLC) que existen en el mercado, permite tener más opciones a la hora de realizar proyectos de sistemas automatizados. SIEMENS es una marca que ya se ha posicionado en el mercado, la mayoría de proyectos se realizan con esta marca de controlador; sin embargo, existen otras marcas como Mitsubishi, Schneider, Omron, Delta, Allen Bradley, etc. que dependiendo del alcance del sistema que se pretenda desarrollar pueden representar una opción adecuada para la realización de proyectos.

El presente proyecto trata sobre el diseño e implementación de un sistema automatizado de colocación de tapas y sellos de seguridad plásticos para frascos de vidrio multipropósito utilizando un controlador Modicon TM221CE24T del fabricante Schneider. Se plantea el desarrollo de este sistema con la finalidad de que sirva como medio de aprendizaje de sistemas integrados de control para los estudiantes de carrera de electrónica y automatización.

El diseño e implementación del sistema parte con el estudio de temáticas relacionadas con los sistemas automatizados, así como, con el dimensionamiento y elección de los elementos, dispositivos y accesorios necesarios para el desarrollo del proyecto. El sistema consta de dos módulos: un módulo de tapado conformado por una estación para orientar y colocar las tapas sobre los frascos y otra encargada de enroscarla; un módulo de sellado destinado a encoger el termoencogible de polietileno y sellar el frasco; todo el sistema está gobernado por un PLC Modicon TM221CE24T y programado con el lenguaje de programación Ladder o escalera. Además, para el monitoreo del sistema se desarrolló una aplicación HMI utilizando el software Lookout en su versión 6.7.1 que gracias a que maneja el protocolo de comunicación Modbus al igual que el PLC no hizo falta un servidor OPC para realizar la comunicación entre el proceso y el computador.

La parte física del sistema engloba actuadores eléctricos y neumáticos, los módulos como tal, así como, elementos de potencia como motores, relés de estado sólido, variador de frecuencia, etc. Con todo el sistema culminado, se procedió con la realización de pruebas para validar la máquina automatizada.

ANTECEDENTES

La automatización representa un componente esencial en el desarrollo de soluciones para múltiples procesos que involucren grandes y pequeñas líneas de producción. Con un sistema automatizado se pueden conseguir grandes beneficios, como la reducción de tiempo de producción, obtención de procesos más precisos, que sumado al ahorro de tiempo y a los nuevos avances tecnológicos que surgen día a día, sobre todo en el área de la automatización permiten obtener sistemas totalmente eficientes, consistentes e inmunes a errores humanos.

A nivel industrial se pueden encontrar diferentes procesos dentro de una misma línea de producción destinados a colaborar entre sí para obtener un producto final, por ejemplo, un proceso de envasado. Un proceso de envasado automatizado está conformado principalmente por cuatro módulos muy bien diferenciados: el de dosificado, transporte, tapado y sellado.

La Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con dos módulos ya implementados que son los módulos de dosificado y transporte, se propone integrar un módulo de colocación de tapas y sellos de seguridad sobre el sistema de transporte. El módulo de tapado, estará conformado por dos estaciones, una que servirá para colocar la tapa y otra que permitirá enroscarla, cada una estará dotada con sus respectivos actuadores eléctricos y neumáticos para su accionamiento. El módulo de sellado contará con una pistola de calor y una estructura metálica que permitirá distribuir el aire caliente centrándose sobre todo en el contorno de la boca de los frascos para encoger el termoencogible que servirá de sello de seguridad para los frascos. El elemento de control que se utilizara para gobernar el sistema será un PLC Modicon, que además de controlar el sistema, también servirá como elemento para transmitir y recibir información desde el servidor Lookout que se utilizara para desarrollar una aplicación HMI que permita monitorear y controlar el sistema desde una terminal remota. El desarrollo de este proyecto se espera sirva como medio para el aprendizaje de los sistemas de control utilizando autómatas programables a los estudiantes de la carrera de ingeniería en electrónica y automatización.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar e implementar un sistema automatizado para la colocación de tapas y sellos de seguridad plásticos para envases de vidrio multipropósito en un sistema de envasado?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuáles son los antecedentes que involucran el estado del arte para el desarrollo de un sistema automatizado de colocación de tapas y sellos de seguridad?
- ¿Cuáles son los requerimientos del sistema automatizado para que la colocación de tapas y sellos de seguridad funcionen correctamente?
- ¿Cuáles son los dispositivos apropiados para que el sistema automatizado de colocación de tapas y sellos de seguridad realice el proceso de forma correcta?
- ¿Cómo implementar un sistema automatizado para la colocación de tapas y sellos de seguridad en un proceso de envasado?
- ¿Cómo validar los resultados del sistema automatizado tanto en la colocación de tapas y sellos, así como en el control del mismo?

OBJETIVOS

General:

- Diseñar e implementar un sistema automatizado para la colocación de tapas y sellos de seguridad plásticos para frascos de vidrio multipropósito en un sistema de envasado.

Específicos:

- Estudiar el estado del arte referente al desarrollo de un sistema automatizado para la colocación de tapas y sellos de seguridad en frascos de vidrio multipropósito.
- Determinar los requerimientos del sistema de automatizado para que la colocación de tapas y sellos de seguridad funcionen correctamente.
- Diseñar el sistema a través del dimensionamiento y selección de los dispositivos apropiados para que el sistema automatizado de colocación de tapas y sellos de seguridad realice el proceso de forma correcta.

- Implementar un sistema automatizado para la colocación de tapas y sellos de seguridad en un sistema de envasado.
- Validar los resultados del sistema automatizado mediante la contabilización de envases tapados y sellados en el lapso de 1 minuto.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Automatismo o Sistema de Control

Un automatismo ejecuta diversas tareas, industriales, agrícolas, domésticas, administrativas o científicas sin la intervención total o parcial de los seres humanos. En un sistema automatizado confiamos todas o parte de las funciones que interviene en un proceso a diferentes órganos tecnológicos con la finalidad de gestionar de forma eficiente grandes complejos industriales o comerciales y de esta forma aumentar la productividad y mejorar la calidad (García Moreno, 2020, p.10). Los automatismos pueden ser tratados mediante funciones de lógica combinacional o secuencial.

Automatismos combinacionales. - La salida de un automatismo de lógica combinacional depende únicamente de la combinación de las variables de entrada.

Automatismos secuenciales. - La salida de un automatismo de lógica secuencial depende de los valores de las variables de entrada y del estado anterior del sistema. Este tipo de sistemas son capaces de memorizar y almacenar secuencias de entrada en forma de estado interno.

1.2. Estructura de un Automatismo

Un automatismo está conformado por una parte operativa, el cual contiene el proceso a controlar y una parte de control encargado de manejar la información procedente de los sensores, que mediante el dispositivo de control y un protocolo de comunicación generan las ordenes de mando para controlar el proceso mediante actuadores.

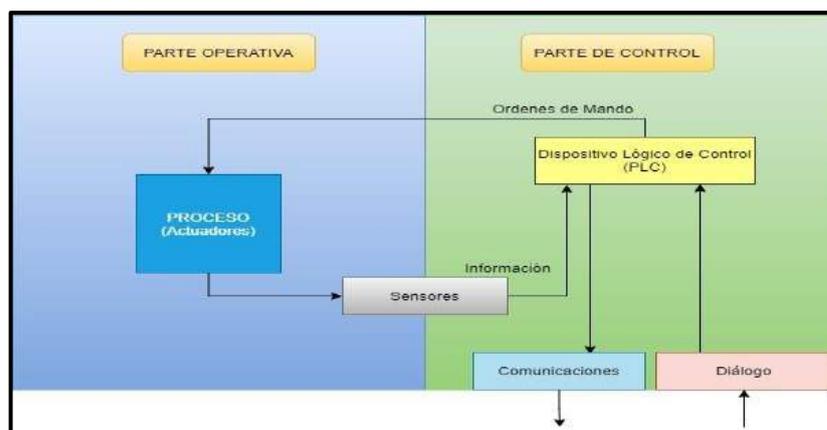


Figura 1-1. Modelo estructural de un sistema automatizado.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

1.3. Tecnologías utilizadas en la Automatización

Según Vásquez Cortes (2017, p.28), las principales tecnologías o técnicas utilizadas por las industrias para realizar automatismos son:

Neumática. Utiliza como fuente de energía el aire comprimido y mediante lógica neumática controlan actuadores neumáticos.

Electromecánica. Mediante un dispositivo electromecánico denominado relé, se abren o cierran contactos que en función a la lógica cableada generan una señal de control.

Electrónica. Se basa en controladores lógicos programables (PLC) que ejecutan instrucciones de control cargados en su memoria.

Electroneumática. Abarca las tres tecnologías precedentes y gracias a ello, permite dar solución a problemas en los cuales se ha alcanzado el límite de aplicación de cada una de ellas.

1.4. Elementos de un sistema electroneumático

La neumática se relaciona directamente con la circulación del aire y su utilización como fuente de alimentación para generar movimientos controlados ya sean, lineales o giratorios por medio de cilindros o motores respectivamente. Dichos movimientos se consiguen con un sistema neumático, comprimiendo el aire y almacenándolo en un depósito que posteriormente será transmitido a través de una red de tuberías y reguladores de presión a cada dispositivo electroneumático (Creus Sole, 2008).

1.4.1. Producción de aire y redes de distribución

1.4.1.1. Unidad compresora de aire

El compresor es el encargado de producir y suministrar el aire comprimido. Para ello, mediante un sistema mecánico, aspira el aire de la atmósfera comprimiéndola y almacenándola en un depósito para su posterior utilización (Vasquez Cortes, 2016, p.155).

1.4.1.2. Redes y líneas de aire comprimido

Las redes y líneas de aire comprimido permiten transportar el aire desde la unidad compresora hasta los puntos de utilización. En este tipo de redes se debe procurar mantener las pérdidas en los límites mínimos evitando caídas de presión o estrangulamientos.

1.4.2. Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos transforman la energía del aire comprimido en movimiento lineal por medio de cilindros neumáticos o giratorio por medio de motores neumáticos (Creus Sole, 2008, p.15).

1.4.2.1. Cilindros neumáticos

Los cilindros neumáticos convierten la potencia neumática en movimiento rectilíneo, consisten en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que se desliza (avance o retroceso de carrera) y transmite el movimiento a través de un vástago (Creus Sole, 2008, p.26).

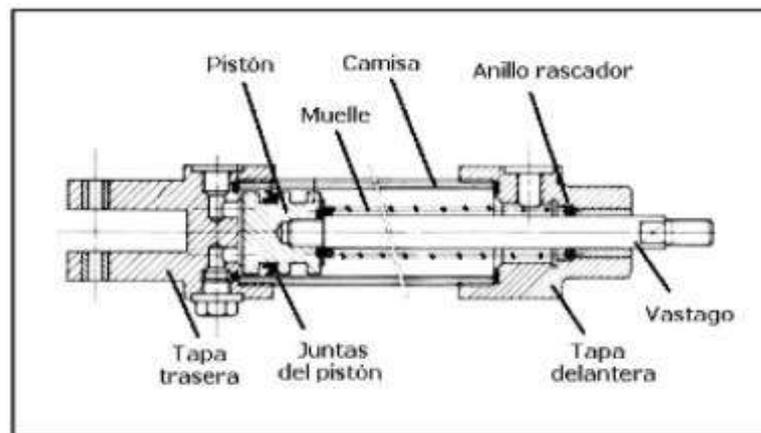


Figura 2-1. Estructura de un cilindro neumático.

Fuente: (Creus Sole, 2008, p.26)

Los cilindros comúnmente utilizados en las industrias son.

Cilindro neumático de simple efecto. – En este tipo de cilindros el aire comprimido actúa en una sola dirección de la cámara (tapa trasera). La carrera activa del cilindro es el vástago saliente y su retorno se logra por la acción de un resorte o por una fuerza externa (carga) (Vázquez Cortes, 2016, p.101).



Figura 3-1. Dibujo y símbolo de un cilindro de simple efecto.

Fuente: (Vázquez Cortes, 2016, p.101)

Cilindro neumático de doble efecto. – Tiene la ventaja de ejecutar trabajo en ambos sentidos; es decir, tanto la carrera directa como la carrera inversa se realiza penetrando aire en la cámara trasera y delantera respectivamente (Creus Sole, 2008, p.27).

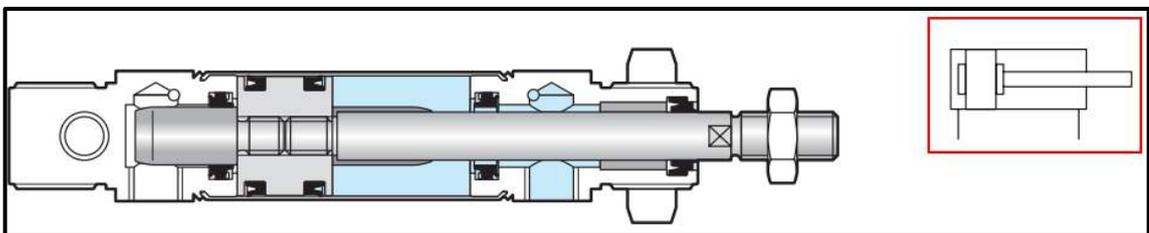


Figura 4-1. Dibujo en sección y símbolo de un cilindro de doble efecto.

Fuente: (Frank Ebel et al., 2010: p.48)

1.4.2.2. Cálculo de cilindros neumáticos

Fuerza del cilindro

De acuerdo con Creus Sole (2008, p.29), la fuerza que ejerce el pistón sobre un elemento de trabajo está dada por:

Para un cilindro de simple efecto:

$$F_T = \frac{\pi * D^2}{4} * P_{aire} \tag{1}$$

$$F_{ef} = F_T - (F_f + F_r) \tag{2}$$

Para un cilindro de doble efecto:

$$F_{avance} = F_T - F_f \quad (3)$$

$$F_{retroceso} = \left[\pi * \frac{(D^2 - d^2)}{4} * P_{aire} \right] - F_f \quad (4)$$

Donde:

F_T = Fuerza teórica [N]

F_{ef} = Fuerza efectiva [N]

D = diámetro del cilindro [cm]

d = diámetro del vástago [cm]

P_{aire} = presión de trabajo [bar]

F_f = fuerza de fricción (3% a 10% de F_T)

F_r = fuerza del resorte [N]

Velocidad del émbolo

La velocidad promedio del émbolo en cilindros estándar se establece en aproximadamente 0.1 a 1.5 m/s; si es necesario, está se puede reducir utilizando válvulas de estrangulación y anti retorno (Frank Ebel et al., 2010: p.60). La siguiente gráfica muestra la velocidad del émbolo en función de su diámetro.

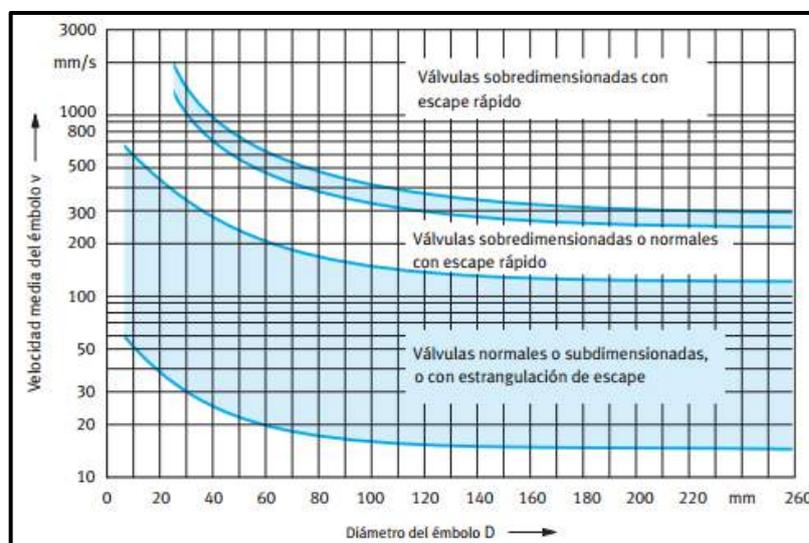


Figura 5-1. Velocidad media del émbolo para cilindros estándar

Fuente: (Frank Ebel et al., 2010: p.60)

1.4.3. Dispositivos de interfaz

El dispositivo de interfaz que permite la interacción entre la neumática y la electricidad es la electroválvula. Está compuesta por una bobina (solenoides), un resorte y múltiples orificios alojados en su cuerpo metálico que permiten distribuir el aire comprimido hacia las diferentes salidas en función a una señal de mando y de acuerdo a un programa establecido (Vásquez Cortés, 2016, p.177).

Según la forma de accionamiento las electroválvulas pueden ser.

1.4.3.1. Electroválvula monoestable

Se acciona mediante un solenoide-resorte. Cuando se energiza el solenoide se alimenta aire a la cámara del cilindro y el vástago avanza y cuando se des-energiza el vástago regresa a su posición estable por acción del resorte.

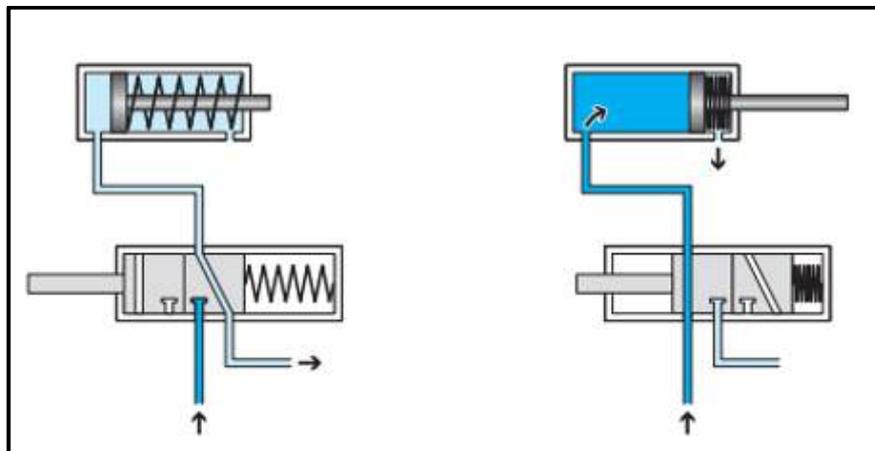


Figura 6-1. Accionamiento de un cilindro de simple efecto.

Fuente: (Frank Ebel et al., 2010: p.66)

1.4.3.2. Electroválvula biestable

Está compuesta por dos solenoides para activar cada una de las posiciones (abierto o cerrado). Al accionar la válvula se aplica presión en la cámara izquierda del cilindro provocando que el vástago avance y al conmutar nuevamente la válvula el vástago retrocede. Este tipo de válvulas mantienen el estado de conmutación sin importar que se des-energice el solenoide correspondiente. (Frank Ebel, et al., 2010: p.66).

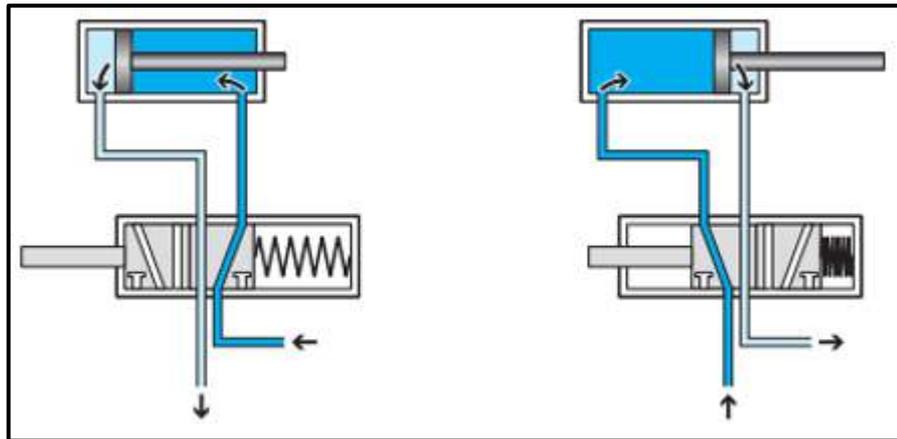


Figura 7-1. Accionamiento de un cilindro de doble efecto

Fuente: (Frank Ebel et al., 2010: p.66)

Las electroválvulas a su vez pueden clasificarse de acuerdo a la variedad de posiciones o estados en los cuales pueden trabajar, por ejemplo: 2/2, 3/2, 4/2, 5/2, 3/3, 4/3, 5/3, etc. En donde el primer valor indica el número de vías o puertos y el segundo indica el número de posiciones o estados. Así una electroválvula 5/2 tiene 5 vías y 2 posiciones (Jiménez, 2013: p.67).

1.4.4. Elementos neumáticos auxiliares

En un sistema neumático existen elementos adicionales, necesarios para garantizar el adecuado flujo de aire que alimenta al conjunto de receptores.

1.4.4.1. Distribuidores de aire

Son unidades en forma de regleta que contiene múltiples orificios para direccionar el aire a diferentes actuadores neumáticos.

1.4.4.2. Racores

Los racores son accesorios utilizados en neumática para realizar la conexión de los receptores a la línea de la red de distribución de aire.

1.4.4.3. Mangueras

Son conductos plásticos a través de los cuales circula aire hacia los dispositivos neumáticos.

1.5. Elementos de mando

Los dispositivos de mando permiten actuar de manera directa sobre un automatismo permitiendo el paso o re direccionando la corriente eléctrica. Los dispositivos de mando más utilizados son los interruptores, conmutadores y pulsadores.

1.5.1. Interruptores

Son dispositivos de mando de dos posiciones de accionamiento manual que permiten abrir o cerrar un circuito mediante deslizaderas, palancas, una manilla rotativa, etc. Tienen un sistema de enclavamiento mecánico que ayuda a mantener una posición fija hasta que se actúe nuevamente sobre él (Martín y García, 2009: p.142).

1.5.2. Conmutadores

Los conmutadores permiten re direccionar la corriente por diferentes ramas del circuito. Tienen dos o más posiciones y al igual que los interruptores son de accionamiento manual (Entrena González, 2015, p.44).

1.5.3. Pulsadores

Los pulsadores son dispositivos de accionamiento manual que permiten abrir o cerrar un circuito mientras se ejerza presión sobre él. Una vez cese la presión sus contactos se abren y vuelve a su posición inicial (Martín y García, 2009: p.143)

1.5.4. Identificación de los elementos de mando

Según la norma EN 60204 los elementos de mando de máquinas se identifican mediante colores de acuerdo a la siguiente tabla (Frank Ebel, et al., 2010: p.188)

Tabla 1-1: Identificación mediante colores de los elementos de mando.

Color	Orden	Estado pretendido
Rojo	Stop, OFF	-Paralización de partes de una máquina. -Detención de ciclo.
	Parada de Emergencia	Detención en caso de peligro.
Verde	Start, ON	Conexión de circuitos a la alimentación de tensión.
Amarillo	Inicio de un movimiento para eliminar situaciones peligrosas.	Reposición de máquinas a su situación inicial.
Blanco o negro	Cualquier función, exceptuando las que se activan con los elementos de mando.	Control de funciones auxiliares.

Fuente: (Frank Ebel, et al., 2010: p.188)

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

1.6. Elementos de potencia y actuadores eléctricos

1.6.1. Motores de corriente alterna

Los motores de corriente alterna son máquinas eléctricas que producen un movimiento giratorio cuando se alimenta a una tensión alterna. Este tipo de motores pueden ser monofásicos, con una fase y neutro o trifásico con tres fases. Los motores trifásicos pueden ser conectados en triángulo para una tensión menor de funcionamiento o en estrella para una tensión mayor.

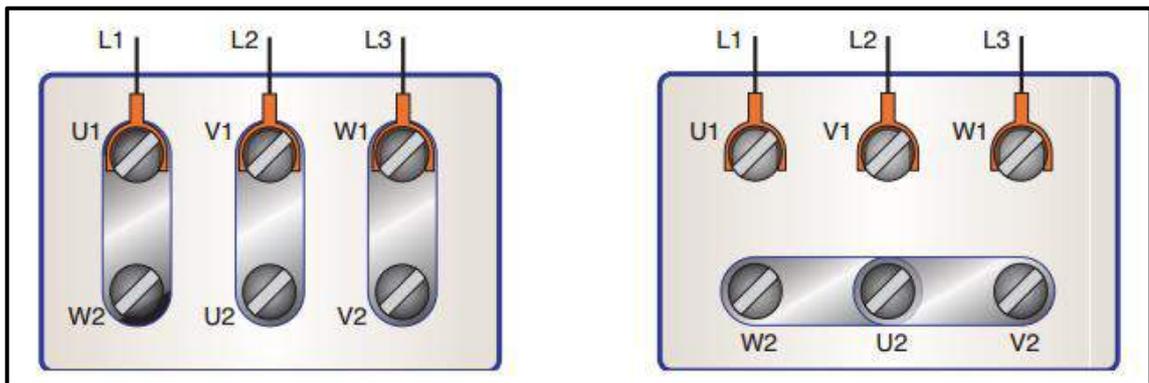


Figura 8-1. Conexión triángulo y conexión estrella para un motor trifásico.

Fuente: (Martín y García, 2009: p.108)

1.6.2. Motores de corriente continua

Estos motores se alimentan con corriente continua; son muy utilizados en electrónica y robótica como dispositivos de actuación para mover pequeñas cargas. Existen diferentes tipos y tamaños que se pueden elegir dependiendo de su aplicación.

1.6.3. Relé de estado sólido

Un relé de estado sólido es un conmutador electrónico, el cual está conformado por un circuito de control y uno de potencia mismos que se encuentran aislados ópticamente dentro de un encapsulado. Permiten el paso de electricidad en el circuito de potencia cuando se aplica una corriente pequeña en los terminales del circuito de control.

1.6.4. Relés auxiliares

Los relés auxiliares son dispositivos electromecánicos que se utilizan en los circuitos de automatismos para realizar operaciones de mando, están conformados por un cabezal de material

transparente el cual aloja el circuito electromagnético y los contactos; el cabezal se conecta sobre un zócalo en el que se encuentran los bornes de conexión.

1.6.5. Interruptor automático

El interruptor automático también conocido como magneto térmico es un dispositivo de protección, protege un circuito de fuerza frente a sobre intensidades o cortocircuitos provocando la apertura automática del circuito cuando aparecen corrientes elevadas.

1.6.6. Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia es un dispositivo de electrónica de potencia capaz de cambiar la frecuencia de la red de alimentación y con ello permitir un arranque suave en los motores eléctricos de corriente alterna (Martín y García, 2009). Con los variadores de frecuencia se evitan las sobre corrientes en el momento del arranque.

1.7. Elementos Captadores o sensores

Los captadores son dispositivos que transforman magnitudes físicas en señales eléctricas susceptibles a medición que pueden ser procesadas por la unidad de control (Entrena González, 2015: p.49).

En el mercado existen diferentes tipos de sensores que permiten medir todo tipo de magnitud física. Sin embargo, en los automatismos industriales los sensores ampliamente utilizados son los sensores de proximidad (Martín y García, 2009: p.145).

1.7.1. Sensores de proximidad

Los sensores de proximidad son utilizados para medir la distancia de un objeto con respecto a un punto de referencia o para detectar la presencia de objetos cuando estos se encuentran dentro de su zona de trabajo (A. Daneri, 2009: p.55).

Los sensores de proximidad pueden estar basados en diferentes tipos de principios físicos, siendo los más frecuentes las siguiente:

1.7.1.1. Sensores de proximidad capacitivos

Están formados por un capacitor conectado a un resonador. Permiten detectar objetos metálicos y no metálicos; cuando el objeto está cerca esté, interfiere con la frecuencia del resonador y de

esta manera detecta el objeto. Su funcionamiento es óptimo a distancias cercanas (Entrena González, 2015: p.53).

1.7.1.2. Sensores de proximidad inductivos

Este tipo de sensores detectan exclusivamente objetos metálicos. Su zona de trabajo es muy reducido, no supera los 60mm en modelos de mayor potencia (Martín y García: p.147).

1.7.1.3. Sensores de proximidad ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos detectan cualquier tipo de objeto. Se basa en un cristal piezoeléctrico montado en la superficie del detector que emite y recibe señales de sonido de alta frecuencia; el eco generado por la señal de salida marcará la distancia de objeto al sensor (A. Daneri, 2009: p.68).

1.7.1.4. Sensores de proximidad fotoeléctricos

Se basa en una célula emisora y otra receptora que mediante un rayo de luz (visible o infrarrojo) detectan el objeto cuando esté atraviesa el rayo de luz.

1.7.1.5. Sensores de proximidad magnéticos

Son sensores electrónicos cuya salida puede ser de tipo transistor NPN o PNP. Este tipo de sensores reaccionan cuando se encuentran cerca de la influencia de un campo magnético ya sea producido por un imán o un electroimán (Entrena González, 2015, p.53).

1.7.2. Conexión de los sensores de proximidad

De acuerdo con Martín y García (2009: p.148), los sensores de proximidad pueden ser de dos o tres hilos.

1.7.2.1. Conexión a dos hilos

Se conectan en serie entre la carga y la red de alimentación que puede ser alterna o continua.

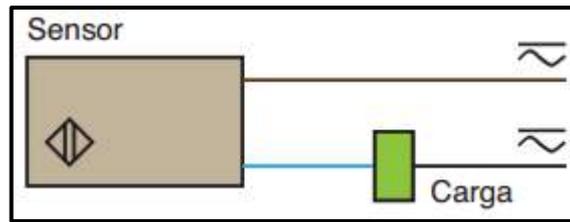


Figura 9-1. Esquema de conexión mixta (alterna y continua).

Fuente: (Martín y García, 2009: p.148).

1.7.2.2. Conexión a tres hilos

En los sensores de tres hilos, dos se utilizan para la alimentación y el restante es para la salida a la carga. Hay que tener presente el tipo de conmutación para evitar cortocircuitos; ya que, si es de tipo PNP la salida es positiva y si es NPN la salida es negativa.

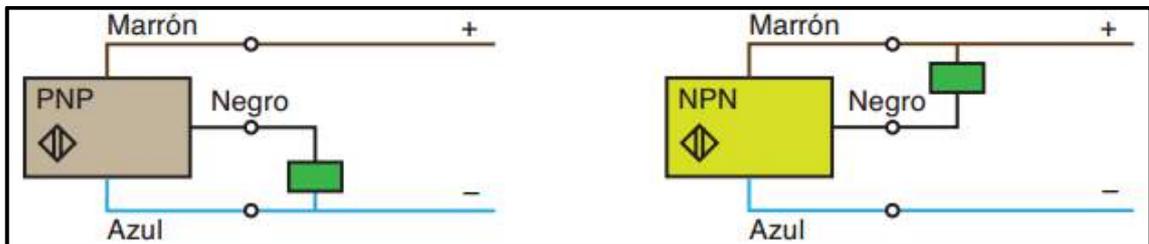


Figura 10-1. Esquema de conexión de sensores PNP y NPN.

Fuente: (Martín y García, 2009: p.149).

1.8. Elementos para procesamiento de información

Estos elementos permiten procesar la información que reciben de los sensores o de los elementos de mando para posteriormente enviar señales de control hacia los actuadores.

1.8.1. Controlador lógico programable (PLC)

Un controlador lógico programable es un dispositivo electrónico basado en un microprocesador que utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones como lógica, secuenciación, temporización, recuento y aritmética para controlar máquinas y procesos (Bolton, 2009, p.3).

1.8.1.1. Estructura de un PLC

El PLC consta principalmente de una unidad central de procesamiento CPU, memoria y módulos de E/S para manejar los datos, además de una unidad de alimentación y terminales de programación mismos que forman el siguiente arreglo (Hudedmani *et al.*, 2017: pp.37-45).

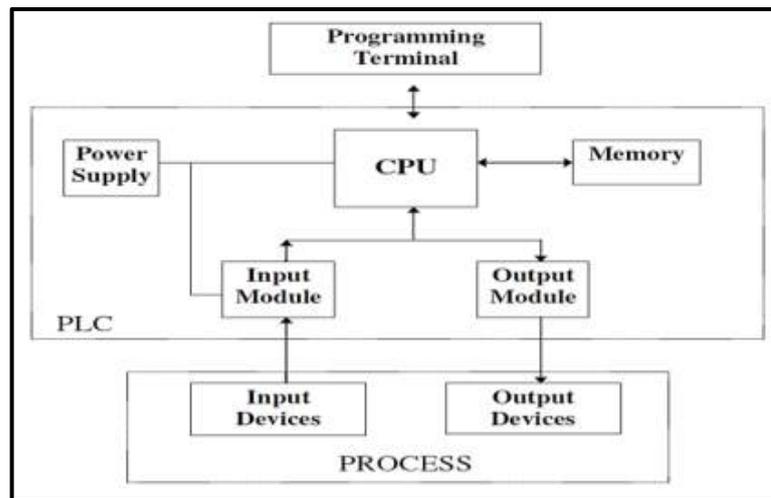


Figura 11-1. Diagrama de bloques de un PLC

Fuente: (Hudedmani *et al.*, 2017: p.40).

CPU. - Es el cerebro del PLC está constituido por un microprocesador y la memoria (RAM y ROM); es el encargado de procesar la información.

Unidad de alimentación. Alimenta todos los componentes electrónicos dentro del PLC. Por lo general la tensión de trabajo es de 24 Vcc.

Módulos de entrada/salida. Permiten recibir las señales procedentes de los dispositivos de entrada y una vez procesados por la CPU, enviarlas al módulo de salida para ser utilizados por los dispositivos de salida. Las señales pueden ser analógicas con valores de 0 a 10 Vcc o 4 a 20 mA para la tensión y corriente respectivamente o digitales con valores de un 1 o 0.

Terminales de programación. Proveen las entradas necesarias para comunicarse con un PC y cargar el programa de control en el PLC.

1.8.1.2. Arquitectura interna de un PLC

Internamente el PLC transmite la información procesada por la CPU por medio de señales digitales a través de diferentes buses que se encuentran sincronizados con un reloj cuya frecuencia es de 1 y 8 MHz (Bolton, 2009, p.6).

- **Bus de datos.** - Se encarga de enviar datos entre los elementos constitutivos.
- **Bus de direcciones.** - Envía las direcciones para acceder a los datos almacenados en memoria.
- **Bus de control.** - Maneja las señales relativas a las acciones de control interno

- **Bus del sistema.** - Se utiliza para las comunicaciones entre los puertos de E/S y la unidad de E/S.

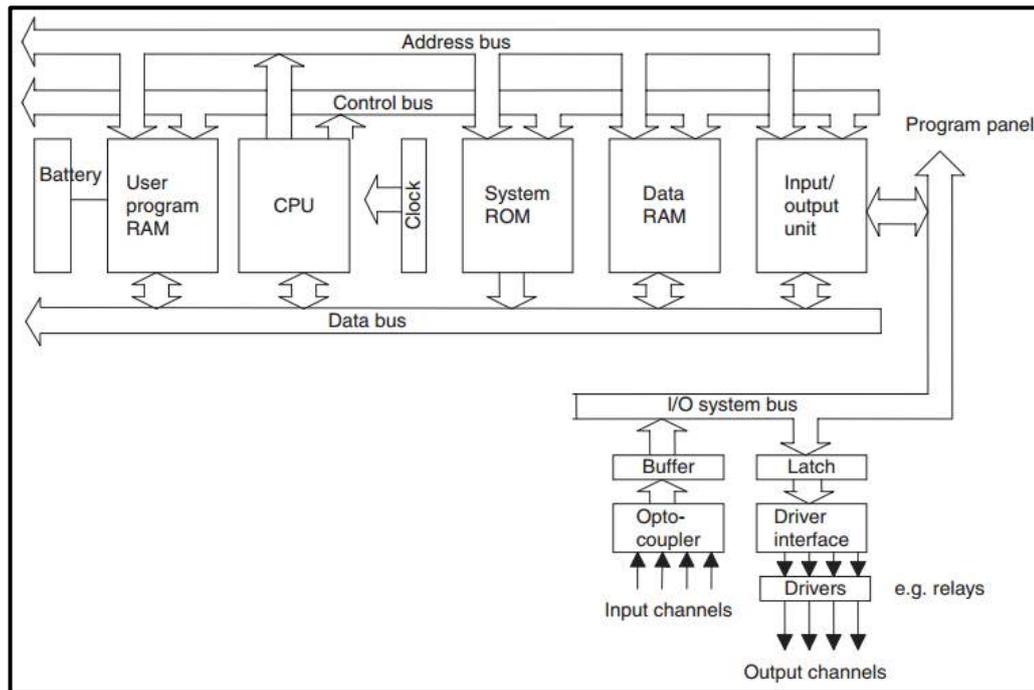


Figura 12-1. Arquitectura de un PLC

Fuente: (Bolton, 2009, p.6).

1.8.1.3. Clasificación de los PLC's

De acuerdo a su modularidad los PLC's pueden ser: compactos, semicompactos y modulares (Martín y García: pp.260-261).

- **Compactos.** Todos sus elementos se encuentran en una misma envoltente. La mayoría de estos modelos son ampliables con diferentes tipos de módulos (entradas, salidas, comunicación, etc.)
- **Semicompactos.** En estos modelos alguno de sus elementos se encuentra fuera de la envoltente principal.
- **Modulares.** Cada elemento está en una envoltente diferente.

1.8.2. Programación de un PLC

Un programa de PLC, básicamente son un conjunto de directivas de usuario codificados bajo un determinado lenguaje de programación que son interpretados por la CPU y ejecutadas de forma cíclica. Los tipos de lenguaje de que disponen los API son diversos (García Moreno, 2020, p.177)

1.8.2.1. Diagramas de escalera (Ladder)

El diagrama de escalera consiste en dos líneas verticales que representan los carriles de alimentación entre las cuales se conectan los circuitos (peldaños de la escalera) mediante líneas horizontales. Los circuitos se forman con símbolos similares a los de los esquemas de circuitos eléctricos a contactores y relés (Bolton, 2009, p.113).

Símbolos básicos. Lo conforman los contactores y las bobinas. Mediante los contactores se genera el circuito lógico cuyo resultado se escribe en las bobinas.

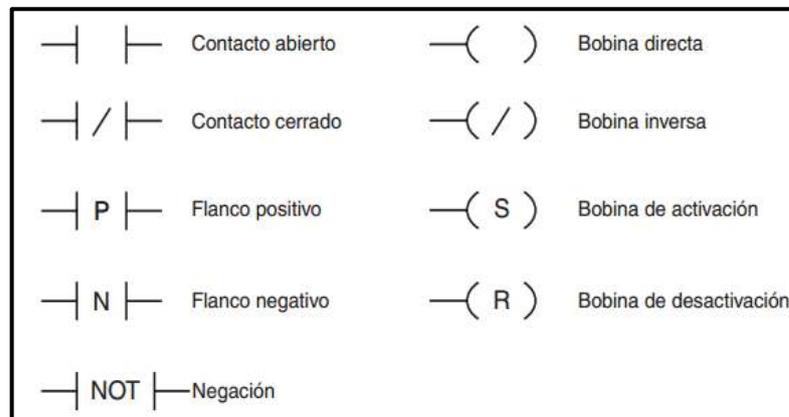


Figura 13-1. Nemotecnia gráfica del lenguaje Ladder

Fuente: (Martín y García., 2009: p.290).

Símbolos especiales. Se utilizan para operaciones especiales tales como el conteo de ocurrencias de un evento (contador) o el control de tiempo (temporizador).

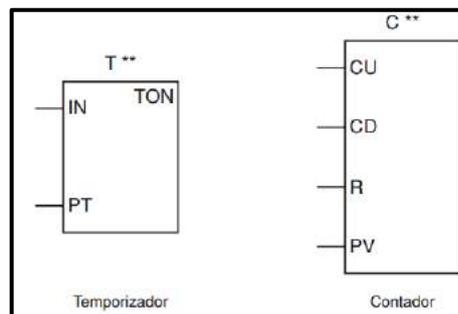


Figura 14-1. Símbolos especiales del lenguaje Ladder.

Fuente: (Martín y García, 2009: p.291).

Flujo de ejecución. La lógica programada en lenguaje ladder se lee de izquierda a derecha peldaño a peldaño según se verifique las condiciones del circuito lógico.

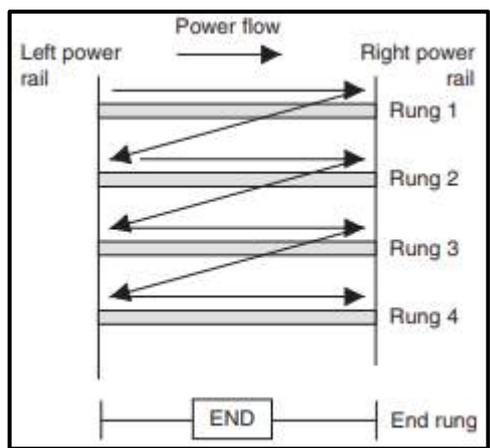


Figura 15-1. Flujo de ejecución de un programa Ladder.

Fuente: (Bolton, 2009, p.113).

1.8.2.2. Diagramas de funciones lógicas

Está influenciado y basado por las técnicas de electrónica digital. Para la programación se utilizan bloques programables de puertas lógicas, temporizadores, contadores, comparadores, etc. (García Moreno, 2020, p.178).

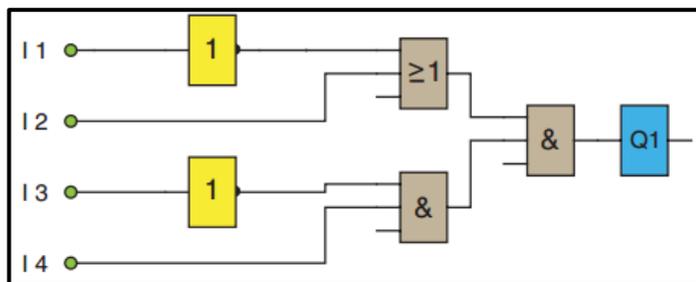


Figura 16-1. Ejemplo de esquema de funciones lógicas

Fuente: (Martín y García, 2009: p.291).

1.8.2.3. Graficet

Graficet es el acrónimo de Gráfico de Control Etapas Transición también conocido como SFC (Gráfico de control secuencial); permite modelar sistemas basados en automatismos de carácter secuencial y está formado por un conjunto de etapas, transiciones, etiquetas y líneas de dirección (Martín y García, 2009: p.300).

Estructuras en el Graficet

Dependiendo de la evolución de las secuencias, el Graficet puede ser: de secuencia única, de secuencias opcionales o de secuencias simultáneas.

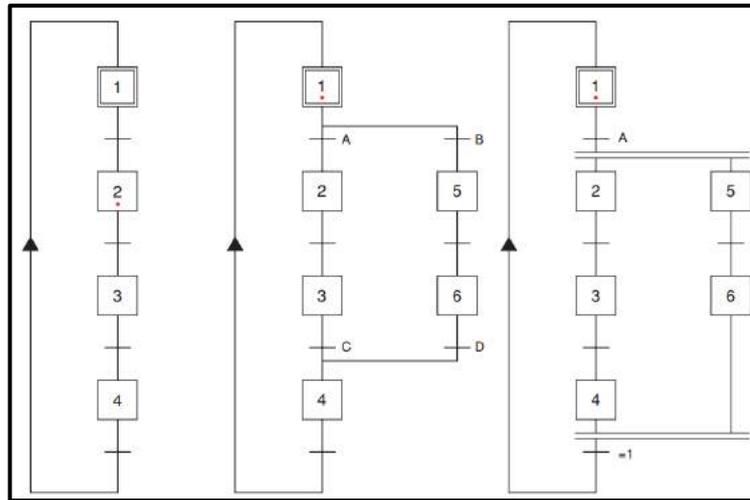


Figura 17-1. Diferentes tipos de Grafcet

Fuente: (Martín y García, 2009: p.301).

Reglas de evolución del Grafcet

De acuerdo con García Moreno (2020, pp.245-247) la dinámica evolutiva del Grafcet viene dada por las siguientes reglas.

- La situación inicial del grafcet corresponde a la etapa de reposo (características iniciales del sistema)
- Una transición se valida cuando las etapas precedentes a la misma están activadas.
- Cuando se franquea una transición, está, activara la etapa siguiente y desactivara la etapa precedente.
- Las transiciones conectadas en paralelo se franquean simultáneamente si se cumplen las condiciones para ello.
- Si durante el funcionamiento una etapa es simultáneamente activada y desactivada, deberá mantenerse activada.

Ecuación de activación/desactivación de etapa

Para un Grafcet de secuencia única la activación de la n ésima etapa es una función de la etapa anterior, la etapa posterior y la transición asociada.

$$E_n = E_{n-1}T_{n-1} + E_n\bar{E}_{n+1} \quad (5)$$

En este sentido la etapa E_n se activará, si estando la etapa E_{n-1} activada y la E_{n+1} desactivada se satisface la transición T_{n-1} y permanecerá activada hasta que la etapa E_{n+1} se active (García Moreno, 2020, p.266).

Ecuaciones de activación de operaciones de mando

Las ecuaciones de activación de operaciones de mando dependen del número de acciones asociadas a cada etapa, es decir del número de salidas del sistema y corresponden a las acciones realizadas por los actuadores con cada activación de las diferentes etapas.

1.9. Elementos software

1.9.1. Protocolo de comunicación Modbus

Modbus es un protocolo de comunicación ampliamente utilizado por las industrias para conectar dispositivos electrónicos. La información en Modbus puede ser de valores discretos (1 bit) o numéricos (2 bytes) y se envían a través de las direcciones de datos conforme a las siguientes direcciones.

Tabla 2-1: Direcciones Modbus.

Numero de Bobina/Registro	Direcciones de datos	Tipo	Nombre de la tabla
1-9999	0000 a 270E	Lectura/escritura	Bobinas de salida discreta
10001-19999	0000 a 270E	Solo lectura	Contactos de entrada discreta
30001-39999	0000 a 270E	Solo lectura	Registros de entrada analógica
40001-49999	0000 a 270E	Lectura/escritura	Registros de retención de salida analógica

Fuente: (Reddy y Jaganmohan, 2015)

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

1.9.2. EcoStruxure Machine Expert-Basic

El programa EcoStruxure, es un software de programación de código abierto que permite controlar procesos de automatización mediante la programación de PLC's de la empresa Schneider a través de una interfaz intuitiva utilizando el lenguaje de programación Ladder también conocido como lenguaje de escalera (Schneider Electric 2021).

1.9.3. Diseño asistido por ordenador (CAD)

El diseño asistido por ordenador (CAD), es una tecnología que consiste en el uso de programas computacionales que se utiliza para diseñar y documentar representaciones gráficas de objetos

físicos. El CAD permite probar de forma interactiva las variantes de diseño de un determinado producto con la finalidad de verificar el desempeño y asegurar la calidad (Siemens, 2021).

1.9.4. Servidor Lookout

Lookout Server es un software de aplicación que proporciona capacidades basadas en web como redes de múltiples clientes y múltiples servidores, monitoreo y control web, servidor y cliente OPC, procesamiento controlado por eventos, registro distribuido y alarmas distribuidas. Cuenta con una interfaz amigable que permite crear aplicaciones HMI, sistemas Scada con la finalidad de controlar y monitorear cualquier tipo de proceso mediante un ordenador de forma remota.

1.9.5. Sistemas SCADA

Un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) es una aplicación o conjunto de aplicaciones software que permiten monitorizar o supervisar datos remotos provenientes de sensores o actuadores presentes en un proceso o automatismo. La información se obtiene utilizando comunicación digital y se visualizan a través de un HMI (Rodríguez, 2008: p.19)

1.9.6. HMI

Un HMI (Human Machine Interface o Interfaz Humano-Máquina) son sistemas que consisten en paneles compuestos por indicadores y comandos que sirven de interfaz entre la persona (operador) y la máquina (proceso), permitiendo visualizar la ejecución y actuar de forma directa sobre un proceso (infoPLC, 2015).

Existen dos tipos básicos de HMIs.

Terminal de operador. - Consisten en dispositivos táctiles que despliegan valores numéricos, alfanuméricos y gráficos. Generalmente son utilizados en ambientes agresivos.

PC + Software. - Se basa en una aplicación software, en el cual se desarrolla el HMI del proceso, misma que se visualiza y controla mediante un ordenador que funciona como una terminal de operador.

1.10. Cuadros eléctricos

De acuerdo con Moreno y Zubiaurre (2014), un cuadro eléctrico es un conjunto de aparatos y accesorios que se encuentran alojados en una envolvente y permiten realizar la conexión y control de circuitos eléctricos, además, de protegerlos del tiempo y de agentes atmosféricos.

1.10.1. Envolvente

Una envolvente es una estructura metálica, de poliéster o termoplástica que atendiendo a su diseño pueden clasificarse en armarios pupitres y cajas; en él se alojan todos los accesorios eléctricos.

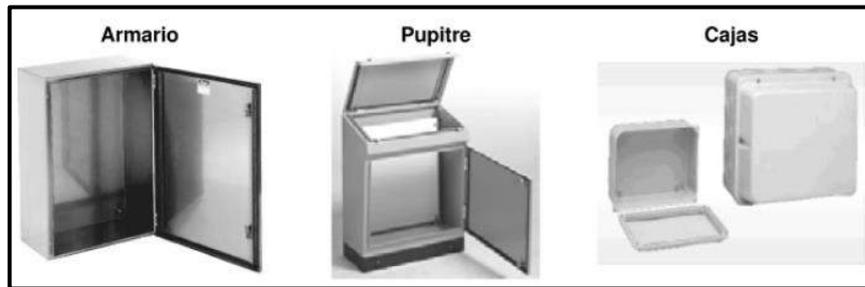


Figura 18-1. Clasificación de envolventes.

Fuente: (Moreno y Zubiaurre, 2014: p.30)

1.10.2. Carriles para soporte de dispositivos

Los carriles también conocidos como railes son pletinas dobladas que se utiliza para el soporte y fijación de los elementos de un cuadro eléctrico. Existen diferentes modelos de carriles, sin embargo, el más utilizado en la práctica es el carril tipo DIN.

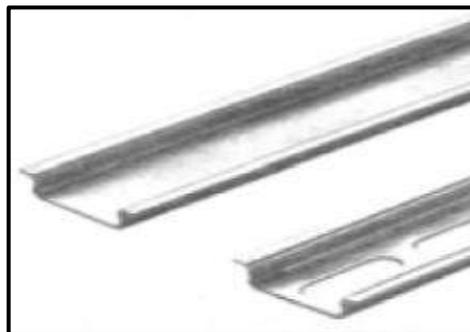


Figura 19-1. Carriles DIN.

Fuente: (Moreno y Zubiaurre, 2014: p.36)

1.10.3. Canaletas perforadas

Las canaletas son estructuras plásticas que se utilizan para alojar el cableado de las instalaciones, poseen una tapa que permite ocultar el cableado y facilitan la tarea de mantenimiento, ya que el operario solo tiene que retirar la tapa de la canaleta para revisar la instalación.

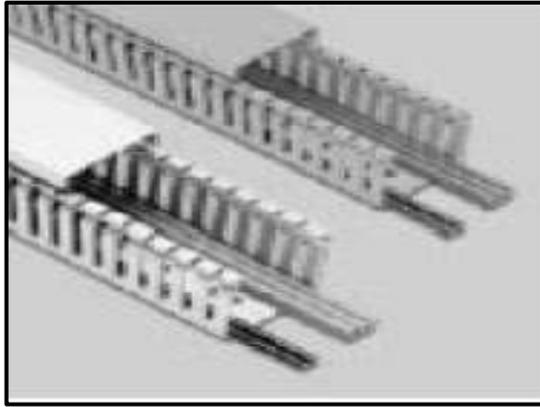


Figura 20-1. Canaletas perforadas.

Fuente: (Moreno y Zubiaurre, 2014: p.36)

1.10.4. Bornes de conexión

Los bornes son pequeñas unidades plásticas con una parte metálica en su centro que mediante tornillos de apriete ubicados en su parte superior permiten conectar la parte de control con los diferentes actuadores presentes en la parte operativa de un automatismo.

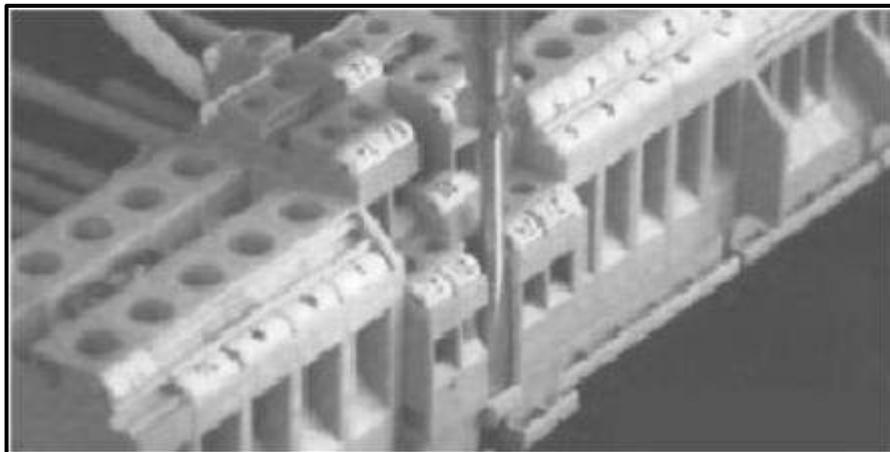


Figura 21-1. Bornes de conexión

Fuente: (Moreno y Zubiaurre, 2014: p.37)

1.10.5. Terminales o punteras

Las punteras son elementos metálicos que se colocan al final de los cables para facilitar la conexión con las borneras o con los elementos receptores.

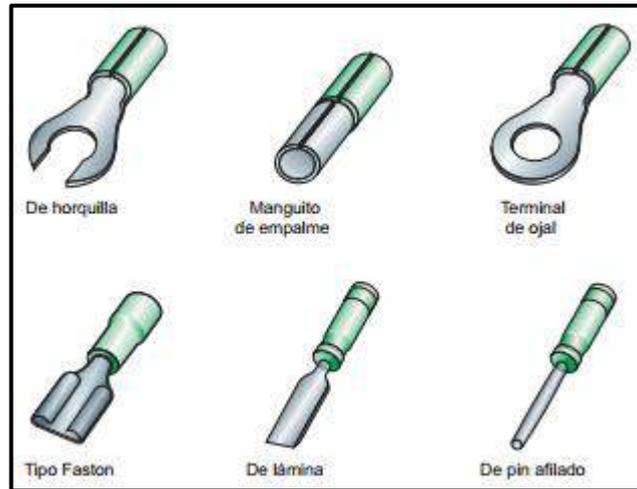


Figura 22-1. Tipos de terminales.

Fuente: (Martín y García, 2009: p.19)

1.10.6. Cableado

De acuerdo con la norma IEC 60204-1 el color de los cables utilizados en los automatismos para conectar máquinas es como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3-1: Código de colores para conductores de acuerdo con la norma IEC 60204-1

Color	Tipo de circuito
Celeste	Neutros de circuitos de potencia
Negro	Conductores activos de circuitos de potencia en c.a y c.c
Verde/amarillo	Conductores de protección (tierra)
Rojo	Circuitos de mando en corriente alterna
Azul	Circuitos de mando en corriente continua
Naranja	Circuitos de enclavamiento de mando alimentados desde una fuente externa de energía.

Fuente: (infoPLC, 2015)

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

1.11. Materiales de termo sellado

1.11.1. Termosellado

El termosellado consiste en calentar cualquier tipo de sello de seguridad plástico o etiqueta termoencogible mediante aire caliente a una temperatura en la cual el termoencogible se encoja, utilizando para ello, un dispositivo adecuado que desvíe el aire a la superficie de sellado y provoque que el sello comience a encogerse y tome la forma del envase que se pretende sellar (Ghosh, 2015: p.75)

1.11.2. Envases

Un envase es un recipiente que se utiliza para albergar o guardar productos sólidos, líquidos e incluso gaseosos. Los envases protegen un producto de factores externos y permiten diferenciarlos unos de otros (Envaselia, 2018). De acuerdo al material en los que se fabrican, se tiene.

Envases metálicos. - Usualmente se utilizan para contener aerosoles, bebidas, etc. La mayoría de estos envases se elaboran con aluminio debido a su ligereza.

Envases de plástico. - Pueden ser elaborados con diferentes tipos de polímeros como el polietileno PE, tereftalato de polietileno PET, el polipropileno PP, etc. Gracias a su versatilidad los envases de plástico actualmente son los más utilizados por industrias de todo tipo.

Envases de vidrio. - Debido a su dureza y capacidad de conservación este tipo de envases son ampliamente utilizados por la industria alimentaria.

1.11.3. Sellos de seguridad plásticos

Los sellos de seguridad plásticos son utilizados principalmente para garantizar que los alimentos envasados no hayan sido alterados o como etiquetas para identificar el producto. Se fabrican a base de polímeros que se obtienen mediante un proceso químico denominado polimerización, Una propiedad térmica importante en los polímeros es la temperatura de transición vítrea T_g , por debajo de esta temperatura el polímero se vuelve frágil y duro, mientras que por encima de esta temperatura es blando y flexible (Ghosh, 2015: p.61).

Tabla 4-1: Temperatura de transición vítrea de algunos polímeros

Polímero	T_g, °C
PE	110
HDPE	137
LDPE	115
PVC	80
PET	80
PS	100

Fuente: (Selke y Culter, 2016: p.71)

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Estado de la máquina actual

La máquina actual, como se observa en la Figura 1-2, únicamente posee la estructura de un sistema de transporte misma que servirá para movilizar los envases a la estación de tapado y sellado que se pretende incorporar en el sistema. La banda transportadora tiene 1.2 m de largo, 18 cm de ancho, además de una altura de 4 cm sobre el nivel de la mesa de trabajo. Sin embargo, no cuenta con los elementos necesarios para accionarla, como son; el motor y el controlador (PLC), por lo que el sistema no se encuentra funcionando.



Figura 1-2. Estado actual de la máquina.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.2. Requerimientos del Sistema

A continuación, se especifican los requerimientos para el desarrollo del sistema automatizado de colocación de tapas y sellos de seguridad plásticos para frascos de vidrio multipropósito.

- Mantener la menor interacción posible entre el usuario y las estaciones.
- Automatizar las estaciones mediante el uso de sensores, actuadores y elementos de control.
- Mantener un bajo costo posible.
- Posicionar los frascos en el lugar deseado mediante sensores ópticos.
- Control de encendido y apagado.

- Realizar un tapado y sellado óptimos.

2.3. Concepción del funcionamiento general del sistema automatizado

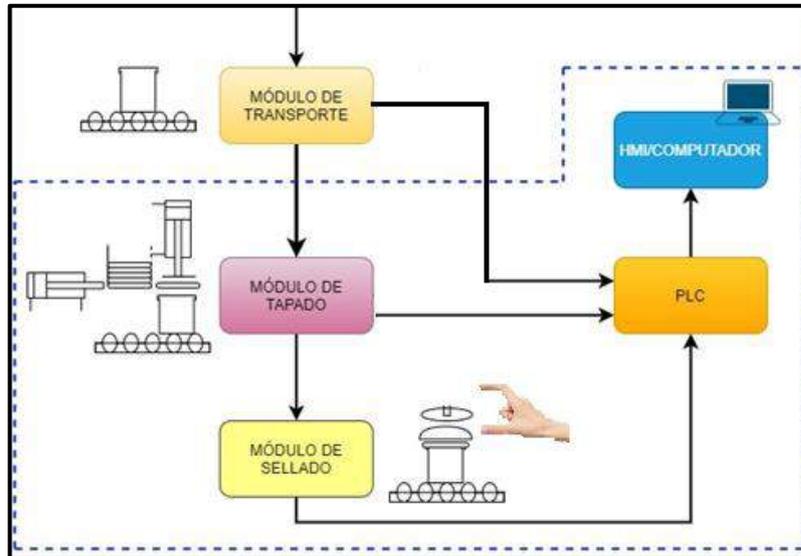


Figura 2-2. Esquema de funcionamiento del sistema automatizado.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

En la Figura 2-2 se observa el esquema funcional del sistema automatizado. El sistema está conformado por tres módulos; módulo de transporte, módulo de tapado y módulo de sellado, todos ellos gobernados por un PLC que controla los diferentes actuadores, dispositivos de interfaz y elementos de mando del sistema que serán monitorizados en un HMI a través de un computador. Cada módulo a excepción del de transporte contará con sensores ópticos para detener la banda transportadora una vez que los envases se encuentren en los respectivos módulos. Cuando un envase este en el módulo de tapado, mediante las electroválvulas se accionarán sus respectivos cilindros neumáticos y estos permitirán colocar y enroscar la tapa en el envase; las posiciones y distancias de avance del vástago de los cilindros neumáticos serán controlados mediante sensores magnéticos que enviarán información al PLC cuando estos se activen. Seguidamente, en el módulo de sellado se utilizará una pistola de calor conectada a una estructura metálica que deberá alcanzar los 80-100 °C y esparcir el calor por todo el contorno del sello termoencogible que se ubicará sobre la tapa del envase de forma manual. Todos los dispositivos electrónicos serán alimentados con una fuente de 24 V y los dispositivos de potencia por una línea monofásica de 110V, a excepción del motor AC que se alimenta con 220 V AC.

2.4. Características del envase utilizado en el diseño

El envase a utilizar es un frasco cuadrado de vidrio con una tapa plástica circular enroscable. En la Tabla 1-2 se muestran las características del mismo.

Tabla 1-2: Características del envase utilizado

Parámetro	Valor
Largo [cm]	6.5
Ancho [cm]	6.5
Altura [cm]	6.5
Diámetro de la tapa [cm]	6.5
Espesor de la tapa [cm]	2
Altura total del envase [cm]	8.5

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.5. Diseño del prototipo

Para el diseño del sistema automatizado se propone un esquema que permita colocar, enroscar y sellar las tapas de forma automática. Para ello, en base a las medidas del frasco de la Tabla 1-2 y utilizando el software SketchUp Pro 2019 se realizó tres prototipos, una para colocar la tapa, otra para enroscarla y una para sellar el envase con su respectivo sello de seguridad plástico.

Se necesita que la tapa sea colocada sobre el envase y este proceso se realice de forma continua, por lo que el diseño planteado consta de un alimentador de tapas, un cilindro en posición horizontal que deslice las tapas hacia la boca del frasco y a su vez detenga la caída del resto de tapas, un soporte en el cual repose las tapas y un cilindro doble ubicado en posición vertical que empuje la tapa hacia el frasco.

El alimentador posee una forma rectangular, su longitud y ancho es de 7.3 cm x 7.3 cm y una altura de 15 cm. El cilindro que empuja las tapas tiene acoplada una pieza rectangular que permite deslizar las tapas de manera uniforme y a su vez detiene la caída del resto de tapas mientras regresa a su posición inicial. A continuación, se muestra el diseño del prototipo en diferentes vistas:

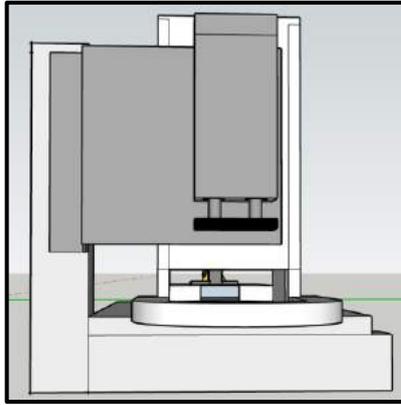


Figura 3-2. Diseño del prototipo para colocar la tapa, vista frontal

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

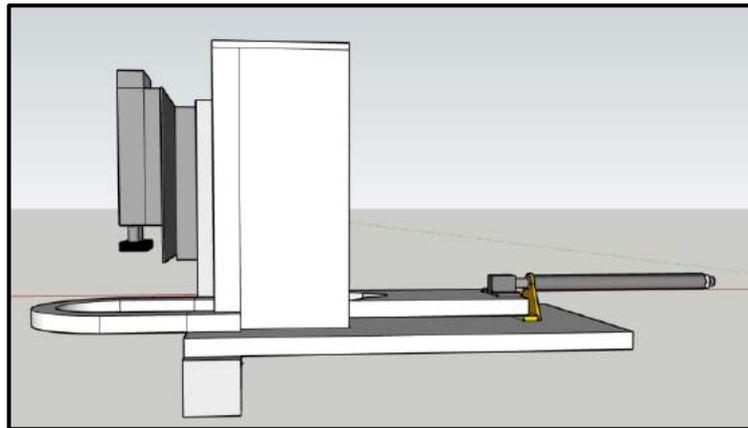


Figura 4-2. Diseño del prototipo para colocar la tapa, vista lateral izquierda.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

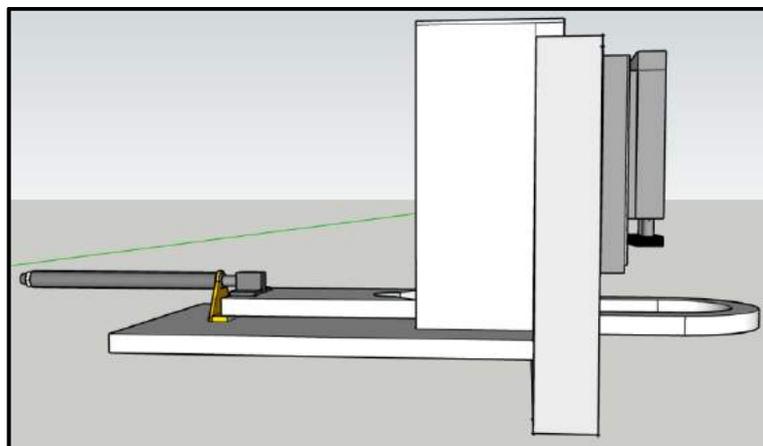


Figura 5-2. Diseño del prototipo para colocar la tapa, vista lateral derecha.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

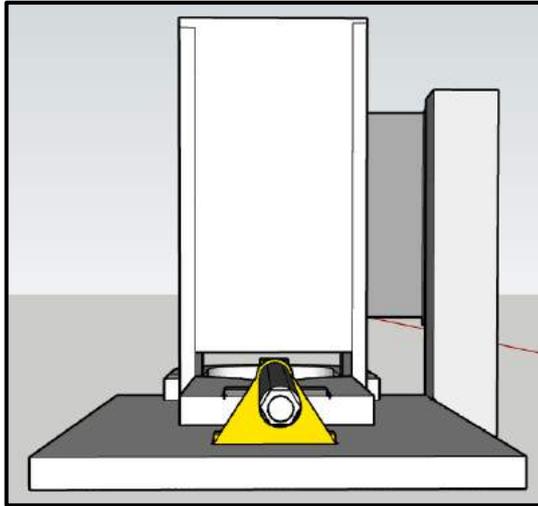


Figura 6-2. Diseño del prototipo para colocar la tapa, vista posterior.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

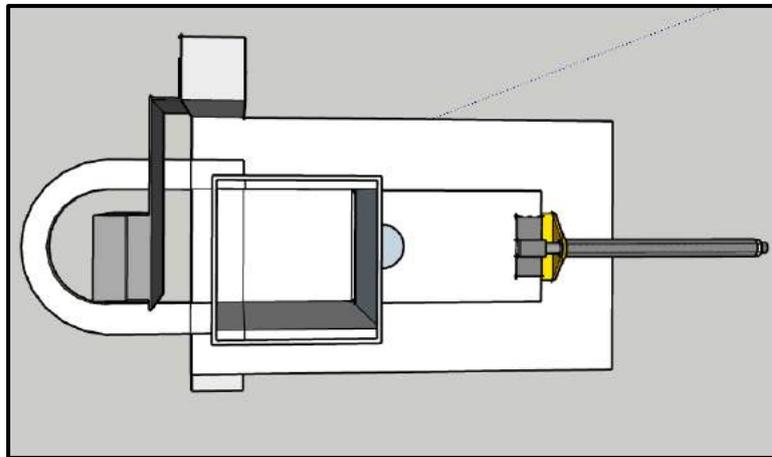


Figura 7-2. Diseño del prototipo para colocar la tapa, vista superior.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Para enroscar la tapa del envase se propone una estructura conformada por un motor DC, el cual llevará acoplada una rueda de caucho en su eje y mediante el movimiento giratorio del motor permitirá enroscar la tapa. El conjunto motor-rueda llegará a la tapa del envase con ayuda de un cilindro neumático doble. La rueda del motor tendrá un diámetro de 6 cm y un espesor de 1 cm. A continuación, se muestran las distintas vistas del diseño de la estructura:

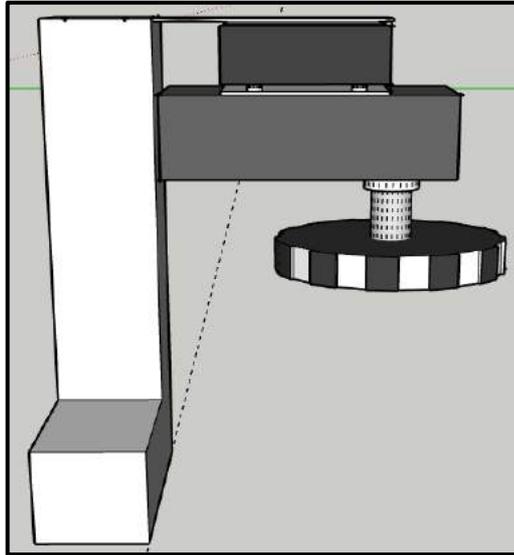


Figura 8-2. Diseño de prototipo para enroscar, vista lateral derecha.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

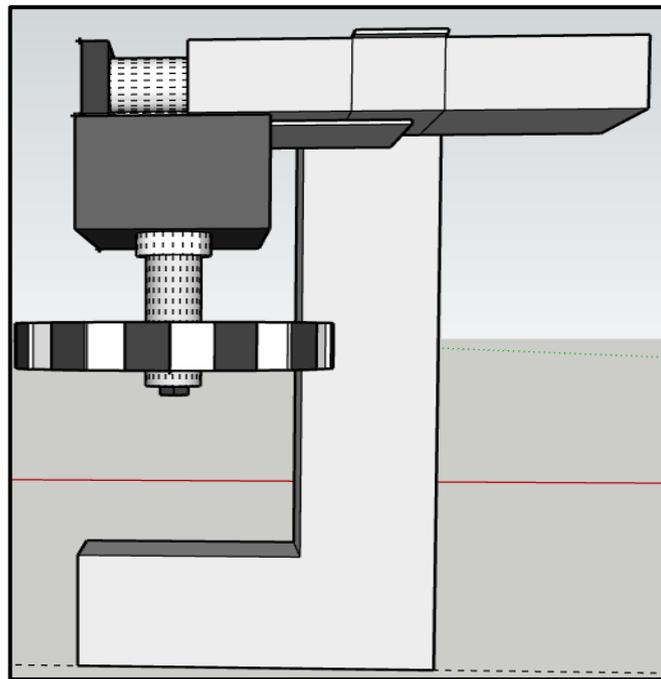


Figura 9-2. Diseño del prototipo para enroscar la tapa, vista lateral izquierda.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

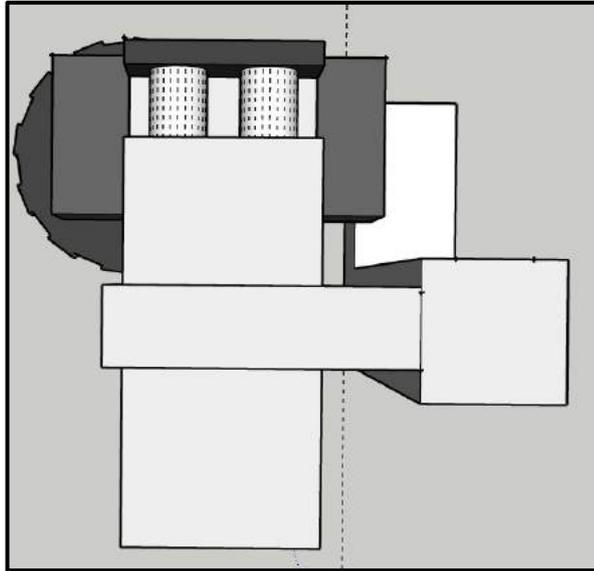


Figura 10-2. Diseño del prototipo para enroscar la tapa, vista superior.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Finalmente, para calentar el sello de seguridad plástico y lograr que el aire caliente proveniente de la pistola de calor se concentre en los alrededores de la tapa del envase y conseguir sellarlo, se propone una estructura de 13.5 cm de largo, 12 cm de altura y un grosor de 2 cm, en cuya salida de aire forme una estructura rectangular cóncava capaz de cubrir un área de 18 cm^2 y dispersar el calor sobre dicha superficie. El diseño de este prototipo es como se muestra a continuación en la Figura 11-2.

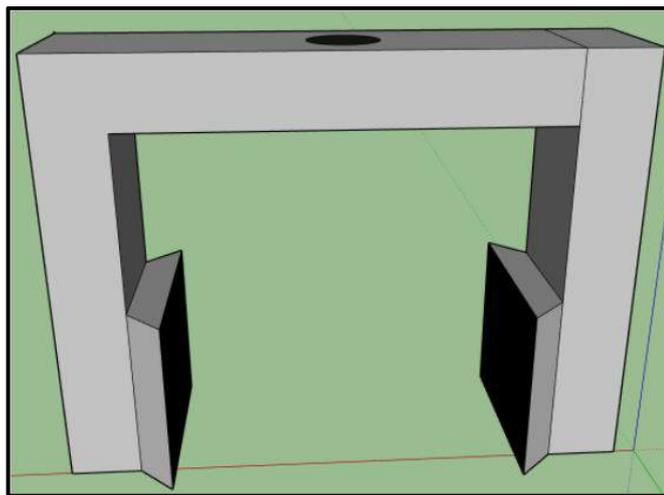


Figura 11-2. Diseño del prototipo para sellar el envase.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.6. Selección de componentes a utilizar en el prototipo

Con el diseño desarrollado, se procedió a seleccionar los componentes que mejor se ajusten a los requerimientos propuestos.

2.6.1. Dispositivo de control

2.6.1.1. Autómata programable TM221CE24T

El TM221CE24T es un autómata programable perteneciente a la gama Modicon M221 del fabricante Schneider Electric, como se muestra en la Figura 12-2. Su arquitectura compacta, puertos de comunicación, número de E/S así como la amplia variedad de funciones que posee, facilitan el desarrollo de múltiples aplicaciones industriales. La Tabla 2-2 muestra las principales características de este controlador.

Tabla 2-2: Características principales del PLC TM221CE24T

Tensión de alimentación	24V DC
Número de entradas digitales	14
Número de entrada analógica	2 en 0...10V
Número de salidas	10 a (0.5 A)
Tipo de salida digital	Transistor PNP
Tensión de salida	24V DC
Puertos de comunicación	1 puerto de línea serie y 1 puerto Ethernet

Fuente: (Schneider Electric 2021).

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)



Figura 12-2. Autómata programable TM221CE24T

Fuente: (Schneider Electric 2021).

2.6.2. Dispositivos de adquisición de datos

2.6.2.1. Sensores magnéticos

Para conocer la posición y configurar una distancia de avance adecuada para el vástago, se colocarán sensores magnéticos SMC en los cilindros neumáticos, como los que se observa en la Figura 13-2. En la Tabla 3-2, se detallan las características de estos sensores magnéticos.

Tabla 3-2: Características sensor magnético SMC.

Modelo	SMC D-A73 D-A93 D-C73D
Voltaje de carga	24 V DC
Corriente de carga	5 – 40 mA
Aplicación de carga	Relé, PLC

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)



Figura 13-2. Modelos de sensores magnéticos.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.6.2.2. Sensores Óptico Taiss/11.8 in ajustable

El sensor de proximidad Taiss/11.8 in utiliza rayos infrarrojos para detectar la presencia de los objetos, el alcance de este sensor es ajustable, es ideal para detectar objetos de vidrio, se puede observar a este sensor en la Figura 14-2. Las características de este sensor se muestran en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Características sensor óptico Taiss/11.8 in ajustable.

Modelo	E3F-DS30P1.
Tensión de alimentación	6-36V DC
Tipo de cable	DC 3 cables PNP NO
Corriente	300mA
Distancia sensorial	11.8 in
Longitud del cable	47.2 in

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)



Figura 14-2. Sensor óptico Taiss/11.8 in ajustable.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.6.3. Actuadores

2.6.3.1. Electroválvula Baomain de 8 espacios

Debido al número de actuadores a utilizar, se optó como elemento de interfaz una electroválvula Baomain con inclusión de una base con silenciador, como se observa en la Figura 15-2. Las características de esta electroválvula se muestran en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Características electroválvula Baomain.

Voltaje de alimentación	24 V DC
Posiciones	2
Número de vías	5
Presión	0.15 – 0.8 MPa

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)



Figura 15-2. Set x8 electroválvula Baomain 5/2 vías.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.6.3.2. Cilindro MA 16X 100-S

Para empujar las tapas de forma horizontal y conseguir retener las tapas en el alimentador, se optó por el cilindro MA 16X 100-S cuya característica principal es que posea una amplia longitud de avance del vástago, como se observa en la Figura 16-2. A continuación, en la Tabla 6-2, se detallan características adicionales de este cilindro neumático.

Tabla 6-2: Características del cilindro neumático MA 16X 100-S

Presión Máxima	1 MPa
Accionamiento	Neumático
Hub	100 mm
Tipo de accionamiento	Doble acción
Tamaño total	220 x 25 mm

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)



Figura 16-2. Cilindro neumático MA 16X 100-S.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.6.3.3. Cilindro doble TN 10X40

Para empujar la tapa de forma vertical y acoplarla sobre el frasco, se utilizó el cilindro doble TN 10X40, que se observa en la Figura 17-2, debido al doble vástago que posee permite ejercer la misma fuerza en todos los puntos de la tapa, manteniendo un empuje uniforme. En la Tabla 7-2 se muestran sus principales características.

Tabla 7-2: Características del cilindro neumático doble TN 10X40.

Accionamiento	Neumático
Bore	10 mm
Accidente cerebrovascular	40 mm
Tipo de acción	Doble acción
Hub	50 mm

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)



Figura 17-2. Cilindro neumático doble TN 10X40.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.6.3.4. Motor CORE HEX

El motor CORE HEX es un motor de corriente continua que se utiliza como elemento giratorio para enroscar la tapa del envase gracias a una rueda de caucho que se acopla a su eje, este motor se lo puede observar en la figura 18-2. A continuación, se muestran sus principales características.

Tabla 8-2: Características del motor CORE HEX

Voltaje de alimentación [V]	3.3 – 5
Eje hexagonal [mm]	5
Corriente de bloqueo [A]	4.4
Velocidad libre [RPM]	125
Peso [kg]	0.02834

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)



Figura 18-2. Motor CORE HEX

Fuente: (REV Robotics, 2021)

2.6.4. Fuente de energía

2.6.4.1. Fuente conmutada

Una fuente conmutada transforma la energía de corriente alterna en corriente continua por medio de transistores en conmutación. Su principal labor es la de alimentar a todos los dispositivos electrónicos mediante el suministro de corriente continua; ya que estos dispositivos solo funcionan con este tipo de corriente, esta fuente se puede observar en la Figura 19-2. La fuente conmutada que se utiliza transforma tensiones de 110-120V a 60Hz de AC en tensiones de 24V a 5A DC.



Figura 19-2. Fuente conmutada de 24V DC.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.7. Dispositivos de potencia

2.7.1. *Motor Siemens*

Es el dispositivo encargado de mover la banda transportadora para que los envases puedan avanzar por los distintos módulos. Las características de este motor se enlistan en la Tabla 9-2 y se lo puede observar en la Figura 20-2.

Tabla 9-2: Características del motor Siemens.

Modelo	1LA7 070-4YA60
Tipo	Motor trifásico
Potencia	0.5 HP
Velocidad de rotación	1590 rpm
Conexión	220 YY/ 449 YV
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Peso	4.7 Kg

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)



Figura 20-2. Motor trifásico Siemens

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.7.2. Variador de frecuencia Lenze smd

Su función es controlar la velocidad del motor AC Siemens y por ende permite, reducir o aumentar la velocidad de la banda transportadora. Su programación se realiza a través de un panel que lleva incorporado. Para cambiar la frecuencia de alimentación se usa el panel de programación, como se observa en la Figura 21-2, mediante el cual se accede al código C40 y con la ayuda de los botones arriba-abajo se selecciona la frecuencia deseada. Cuenta con un rango de potencia de 0,25 a 22 kW/de 1,3 a 46 A, además de un sistema de protección contra sobrecarga del motor integrada (Lenze, 2021).

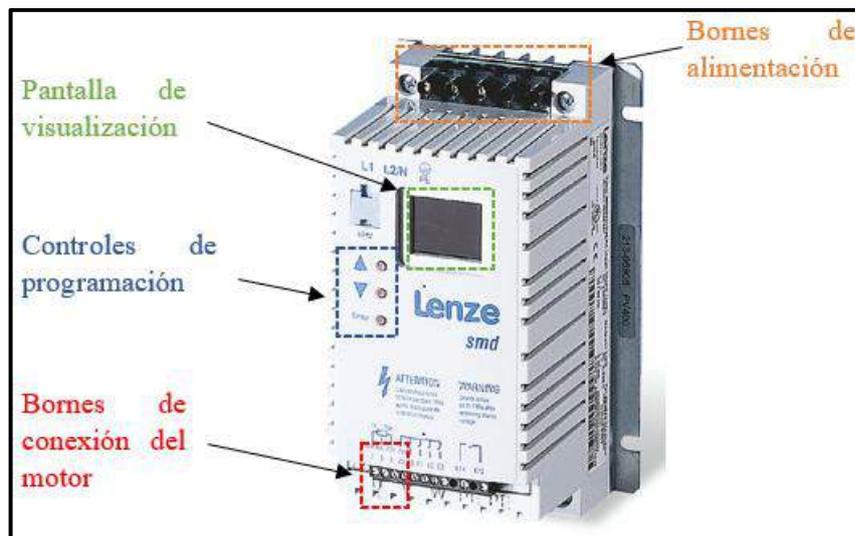


Figura 21-2. Variador de frecuencia Lenze smd.

Fuente: (Lenze, 2021)

2.7.3. Relé de estado sólido

Se utiliza como dispositivo de potencia para controlar el encendido y apagado de la pistola de calor. Tiene un rango de tensión de entrada de 3-24 VDC y su salida es de 24-380 VAC como se observa en la Figura 22-2.



Figura 22-2. Relé de estado sólido

Fuente: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.7.4. Relé auxiliar Telemecanique

Es un dispositivo de potencia que tiene sus contactos normalmente abiertos, se alimenta con 24 VDC y su salida es de 6A a 250VAC. Como se observa en la Figura 23-2, se utiliza en el circuito de fuerza para controlar el encendido y apagado del motor AC Siemens.



Figura 23-2. Relé auxiliar Telemecanique

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.7.5. Pistola de calor RX-8033

La pistola de calor es la encargada de emitir y transferir el calor necesario para conseguir que el sello de seguridad plástico se encoja y termine sellando el envase. La pistola de calor utilizada, como se observa en la Figura 24-2, tiene una potencia de 4KW y se alimenta con 250 VAC.



Figura 24-2. Pistola de calor RX-8033.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.8. Construcción y ensamble del dispositivo

Conforme al diseño realizado en el software Sketchup 2019, se procedió con la construcción y ensamblaje de cada uno de los módulos, los resultados se muestran a continuación.

2.8.1.1. Módulo de colocación de tapas

El módulo de colocación de tapas está estructurado con soportes de aluminio que sujetan la plataforma por donde se deslizaran las tapas, así como la distribuidora de tapas y el cilindro MA 16X 100-S, ambas construidas de material plástico, además, cuenta con una base metálica encargada de sujetar el cilindro doble TN 10X40 que presionará las tapas como se observa en la Figura 25-2.



Figura 25-2. Módulo de colocación de tapas ensamblado.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.8.1.2. Módulo de enroscado de tapas

En este módulo el motor DC CORE REX, que lleva acoplado una rueda de caucho y el cilindro doble TN 10X40, se unen en una estructura, como se observa en la Figura 26-2, que al igual que en el módulo de colocación de tapas se fijan mediante soportes de aluminio.

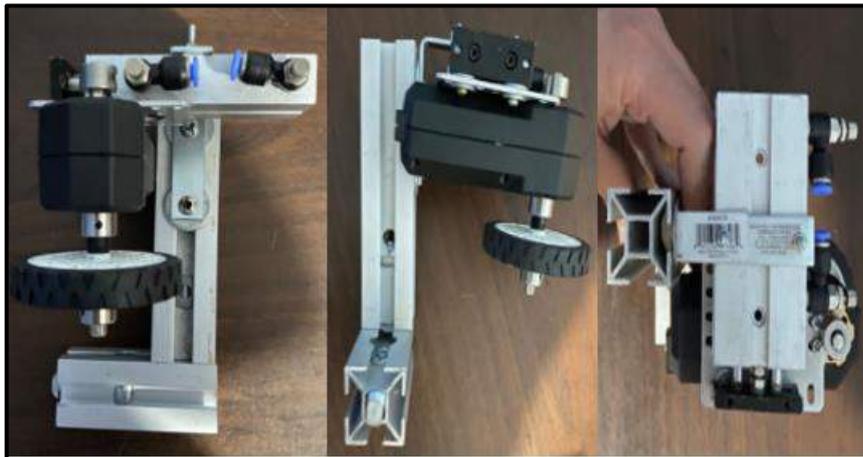


Figura 26-2. Módulo de enroscado de tapas ensamblado.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.8.1.3. Módulo de sellado del envase

La construcción de este módulo se realizó con hierro dulce en base a las dimensiones y el diseño propuesto, como se observa en la Figura 27-2. El material metálico, gracias a sus características térmicas ayudará a transferir mejor el calor sobre el envase.

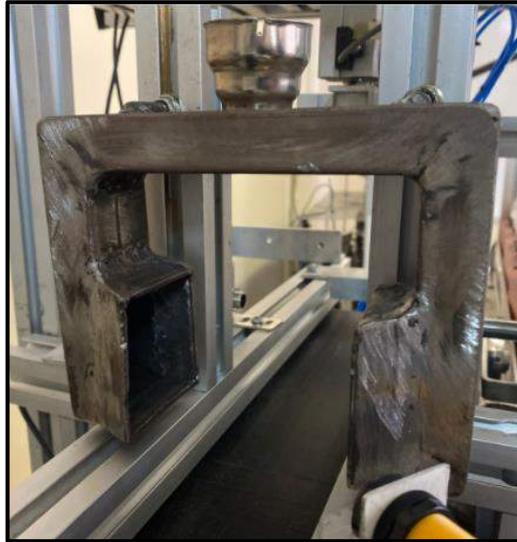


Figura 27-2. Módulo para sellar los envases ensamblado.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.8.1.4. Integración de los módulos en el sistema

Con todos los módulos terminados se procedió a ubicar cada uno de los módulos sobre el sistema de transporte. En la Figura 28-2 se puede observar la estructura del sistema final.

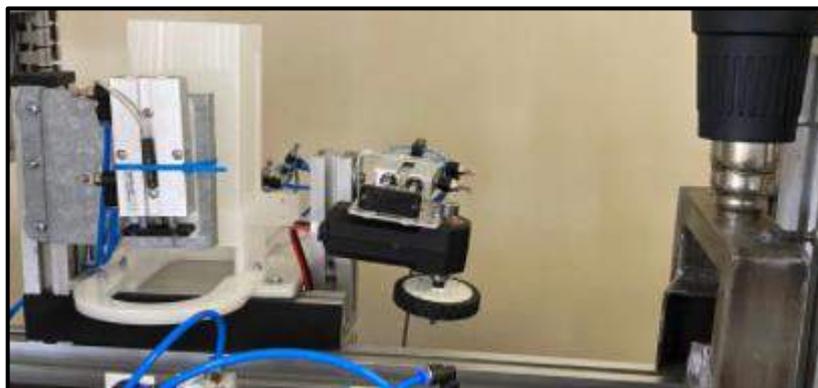


Figura 28-2. Estructura final del sistema.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.8.1.5. Integración de sensores y cilindros neumáticos en el sistema

Como se observa en la Figura 29-2, los sensores ópticos, así como los cilindros neumáticos y sus respectivos sensores magnéticos se colocan frente a los módulos de colocación y enroscado de tapas a una distancia adecuada para detener los frascos en una posición ideal.



Figura 29-2. Sensores y cilindros integrados en el sistema.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.9. Esquema de conexiones del dispositivo

En la Figura 30-2 se puede observar el esquema de conexiones del sistema; el esquema parte con la alimentación del sistema seguido por el dispositivo de protección y la fuente de alimentación que provee de energía (24V DC) al PLC, en el cual se conecta los sensores, los elementos de mando, los dispositivos de potencia y los actuadores sobre sus respectivas interfaces de entradas y salidas, que se denotan por %I0.x para las entradas y %Q0.x para las salidas.

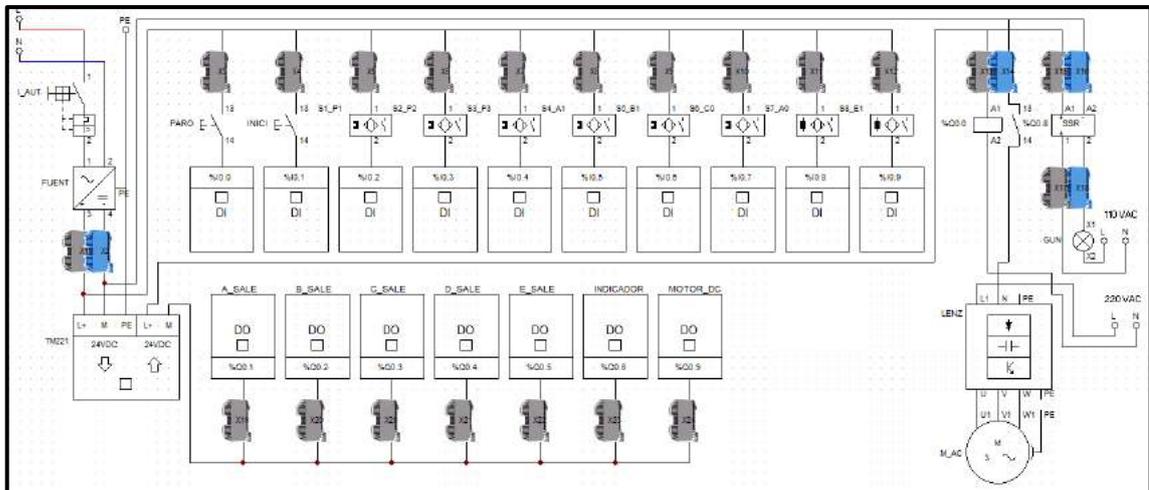


Figura 30-2. Esquema de conexiones del sistema

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.10. Implementación de los esquemas de conexión

2.10.1. Construcción y ensamble del tablero de control

Para la construcción del tablero de control, se ha iniciado con una placa de aluminio donde se colocarán rieles y canaletas, como se observa en la Figura 31-2, donde se encuentran colocadas las canaletas y el riel.



Figura 31-2. Mecanizado del tablero de control.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Con los espacios dispuestos, se procedió a colocar la fuente de 24 V que alimentará el PLC y los demás componentes a utilizar en el desarrollo del proyecto. Para la alimentación de la fuente se conectó previamente el interruptor automático como protección, y después se colocó el PLC.

Se colocaron borneras que permitan unir tanto las entradas y salidas del PLC al igual que los nodos alimentados con los voltajes salientes de la fuente; se separaron las borneras colocando primero una bornera con la señal a tierra, después borneras que reciban el voltaje positivo de la fuente con un puente entre borneras, borneras con puente que reciban el voltaje negativo de la fuente, borneras conectadas en orden para recibir la señal de todas las entradas (sensores, botonera) del PLC y finalmente borneras que reciban las señales de salidas (actuadores, dispositivos de potencia) como se observa en la Figura 32-2.

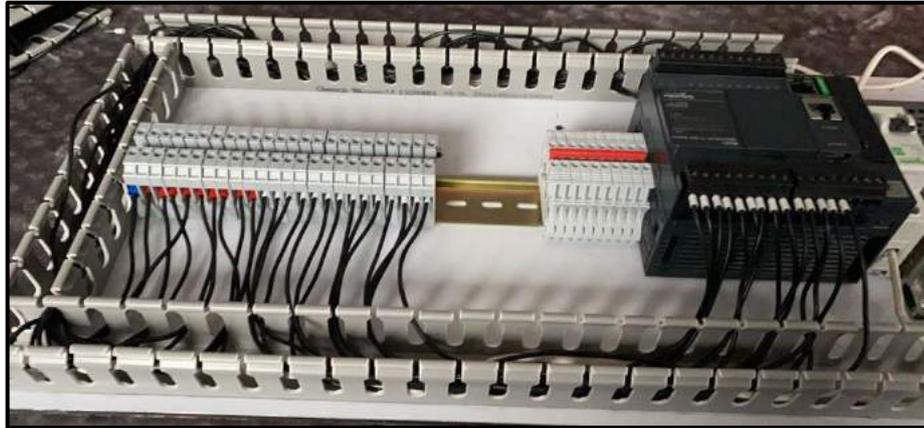


Figura 32-2. Borneras, PLC, fuente e interruptor automático

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

En la Figura 33-2 se muestra el esquema de conexión finalizado, en él se visualiza la fuente de alimentación, elemento de protección, dispositivo de control, sensores, actuadores y dispositivos de potencia conectados.

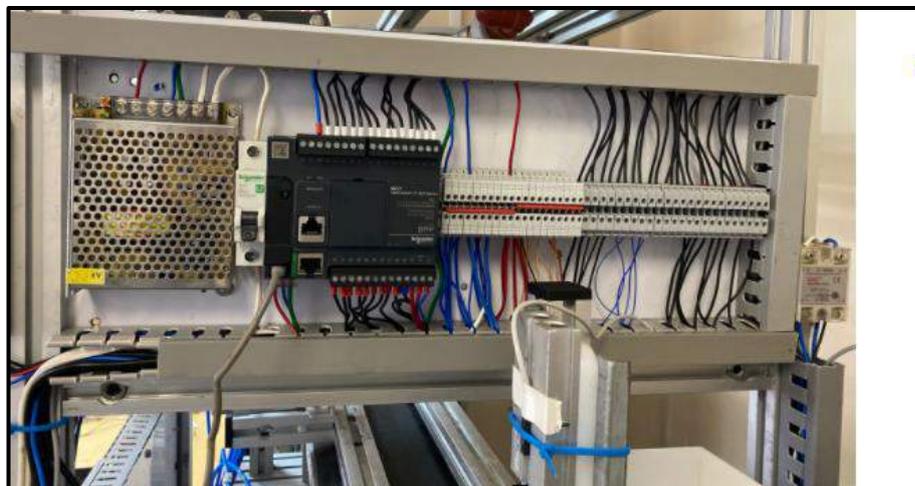


Figura 33-2. Tablero de control del sistema

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.10.2. Cableado de las electroválvulas

Para cablear las electroválvulas se procedió a conectar los relés de cada electroválvula, conectando un cable de señal (color negro) y un cable de voltaje negativo (color celeste) en las entradas de los relés, como se observa en la Figura 34-2.



Figura 34-2. Conexión de las electroválvulas.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.10.3. Conexión de la botonera

La botonera utilizada únicamente contiene dos botones y un indicador, los cuales se usarán como “Inicio”, “Paro” y el indicador para verificar si el PLC se encuentra en funcionamiento, como se observa en la Figura 35-2. Para las conexiones de la botonera se colocaron de forma que compartan un nodo positivo (cable rojo) y cada botón genere una señal hacia el PLC (cable negro). El indicador se conectará a una salida del PLC y el otro nodo al voltaje negativo de la fuente.



Figura 35-2. Conexión de la botonera.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.10.4. Conexión de la banda transportadora

Parte mecánica. - Para transmitir la potencia generada por el motor trifásico y generar movimiento de la banda se utiliza una cadena y dos engranajes conectados como se muestra en la Figura 36-2.



Figura 36-2. Conexión mecánica de la banda transportadora.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Parte eléctrica. - El circuito de control y fuerza del motor trifásico encargado de mover la banda transportadora, cuenta con el variador de frecuencia Lenze smd, el relé auxiliar y sus respectivas borneras para la conexión. En la Figura 37-2 se aprecia cómo el variador se alimenta a la línea principal y su salida trifásica se conecta al motor mediante borneras, que será accionado por el relé auxiliar encargado de cerrar este circuito.

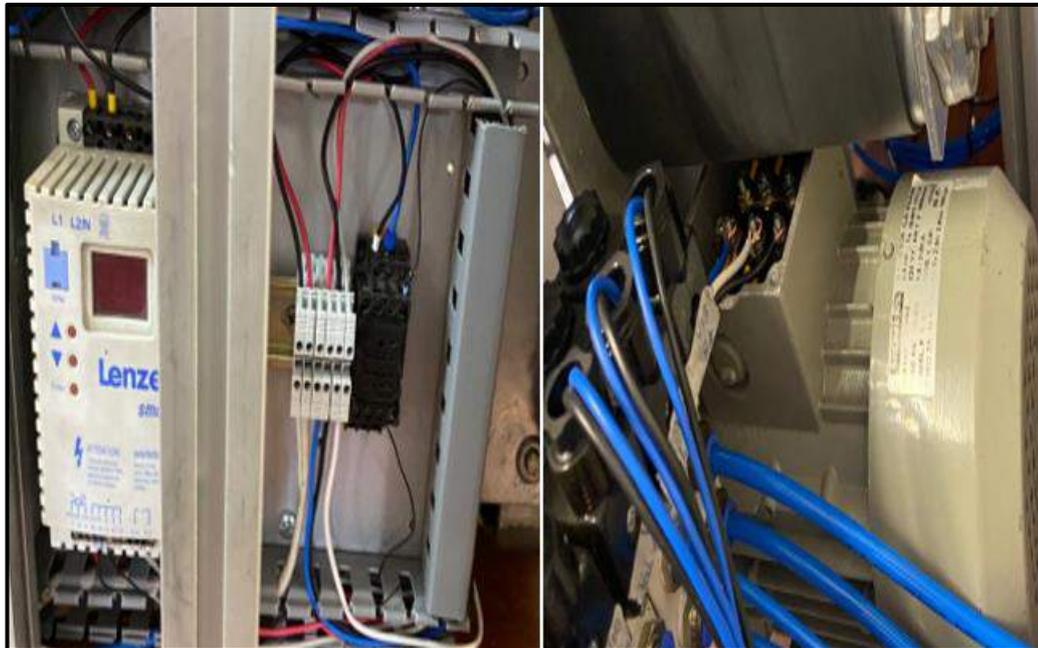


Figura 37-2. Conexión eléctrica de la banda transportadora.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.10.5. Conexión neumática del sistema

Con todos los cilindros posicionados, se procedió a colocar en una posición fija el banco de electroválvulas y posteriormente se conectaron las mangueras en todos los cilindros con cada una de las electroválvulas encargadas de accionarlas. Como se indica en la Figura 38-2.



Figura 38-2. Conexión neumática del sistema.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.11. Programación del dispositivo

2.11.1. E/S utilizadas en la programación

En el siguiente apartado se muestran las distintas entradas y salidas utilizadas en el desarrollo de la programación del sistema. En las siguientes tablas se muestran los nombres de las variables utilizadas en E/S y sus direcciones.

Tabla 10-2: Entradas utilizadas en el PLC

Dirección	Nombre	Descripción
%I0.0	PARO	Botón de PARO
%I0.1	INICIO	Botón de INICIO
%I0.2	S1_P1	Sensor óptico posición 1
%I0.3	S2_P2	Sensor óptico posición 2
%I0.4	S3_P3	Sensor óptico posición 3
%I0.5	S4_A1	Sensor magnético posición 1 de cilindro A
%I0.6	S5_B1	Sensor magnético posición 1 de cilindro B
%I0.7	S6_C0	Sensor magnético posición 0 de cilindro C
%I0.8	S7_A0	Sensor magnético posición 0 de cilindro A
%I0.9	S8_E1	Sensor magnético posición 1 de cilindro E

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Tabla 11-2: Salidas utilizadas en el PLC

Dirección	Nombre	Descripción
%Q0.0	MOTOR_AC	Motor AC
%Q0.1	A_MAS	Cilindro A sale
%Q0.2	B_MAS	Cilindro B sale
%Q0.3	C_MAS	Cilindro C sale
%Q0.4	D_MAS	Cilindro D sale
%Q0.5	E_MAS	Cilindro E sale
%Q0.6	LUZ	Indicador luz verde
%Q0.8	PISTOLA	Pistola de calor
%Q0.9	MOTOR_DC	Motor DC

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.11.2. Secuencia de funcionamiento del sistema (Grafcet)

La Figura 39-2 muestra la secuencia de funcionamiento del sistema representando mediante la herramienta Grafcet. Para una mejor comprensión del Grafcet en la Tabla 12-2 se muestra el significado de las variables utilizadas en las respectivas etapas y transiciones del Grafcet desarrollado.

Tabla 12-2: Significado de las variables utilizadas en el diagrama Grafcet

Variable	Significado
CI	Condiciones iniciales del sistema
T0, T1, T2, T3, T4	Temporizadores utilizados en el programa (configurables)
A+, B+, C+, D+, E+	Vástagos de los cilindros en avance
A-, B-, C-, D-, E-	Vástagos de los cilindros en retroceso
S4_A1	Sensor que indica que el vástago del cilindro A esta fuera
S7_A0	Sensor que indica que el vástago del cilindro A esta dentro
S5_B1	Sensor que indica que el vástago del cilindro B esta fuera
S6_C0	Sensor que indica que el vástago del cilindro C está dentro
S8_E1	Sensor que indica que el vástago del cilindro E esta fuera
S8_E0	Sensor que indica que el vástago del cilindro E está dentro
S1_P1	Sensor óptico numero 1 (estación de colocado de tapas)
S2_P2	Sensor óptico numero 2 (estación de enroscado)
S3_P3	Sensor óptico numero 3 (estación de sellado)
M_AC	Activación del motor trifásico de corriente alterna
M_DC	Activación del motor de corriente continua
~M_AC	Desactivación del motor trifásico de corriente alterna
~M_DC	Desactivación del motor de corriente continua
PSTL	Pistola de calor

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

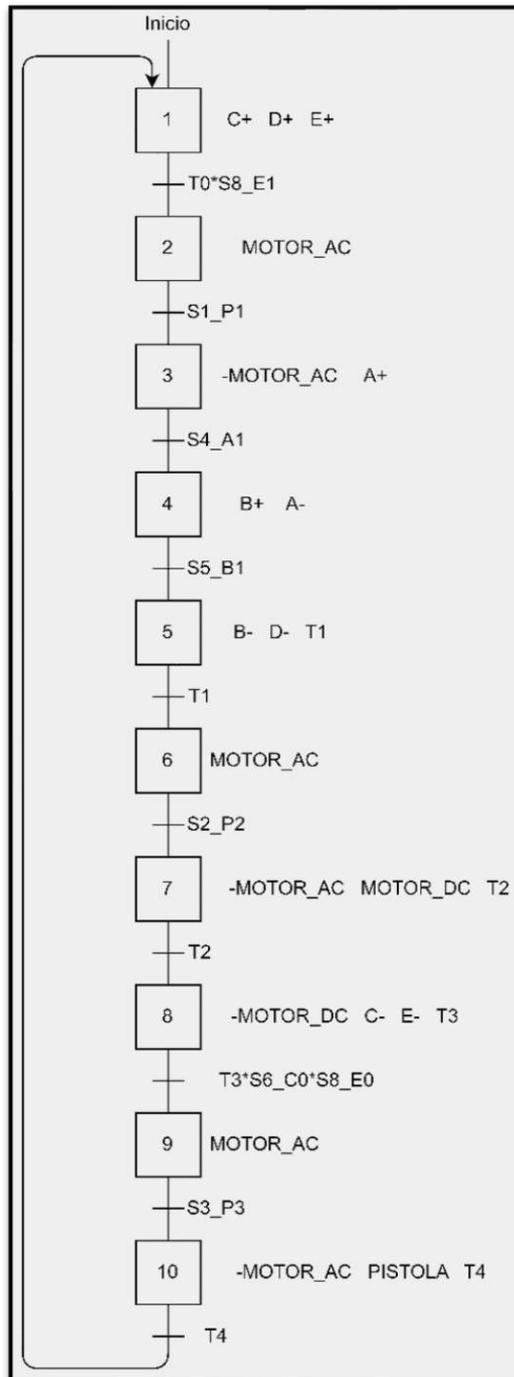


Figura 39-2. Diagrama Grafset del sistema.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

El programa cuenta con 10 etapas, cada una de las etapas, así como las condiciones para avanzar en la secuencia de funcionamiento del Grafset se describen en la Tabla 13-2.

Tabla 13-2: Descripción del funcionamiento del sistema.

Etapa	Acción	Condición para avanzar a la siguiente etapa
0	Todos los actuadores del sistema desactivados	Presionar Inicio
1	Avance de los cilindros C, D y E.	T0 alcance los 2s y el vástago del cilindro E este fuera
2	Motor AC on	El sensor óptico 1 detecte el frasco
3	Motor AC off Avance del cilindro A	Vástago del cilindro A fuera
4	Avance del cilindro B Retroceso del cilindro A	Vástago del cilindro B fuera y del cilindro A dentro
5	Retroceso del cilindro B Retroceso del cilindro D Activación de T1	T1 alcance los 5s
6	Motor AC on	El sensor óptico 2 detecte el frasco
7	Motor DC on Motor AC off Activación de T2	T2 alcance los 5s
8	Retroceso del cilindro C Retroceso del cilindro E Motor DC off Activación de T3	T3 alcance los 5s y los vástagos de los cilindros C y E se encuentren retraídos
9	Motor AC on	El sensor óptico 3 detecte el frasco
10	Pistola de calor on Motor AC off Activación de T4	T4 alcance los 5s
Nuevo ciclo		

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.11.3. Desarrollo de la aplicación HMI

El diseño de la aplicación HMI se desarrolló en base a la normativa ISA 101, específicamente las normas de implementación para aplicaciones HMI (colores de fondo, colores de botones, ubicación de elementos en las pantallas, etc). La aplicación HMI del sistema está compuesto por cuatro paneles: menú principal, panel de ayuda, panel de proceso y panel de alarmas.

2.11.3.1. Menú principal

El menú principal cuenta con tres botones: ayuda, proceso y alarmas; estos nos permiten acceder a los distintos paneles dependiendo de las necesidades del usuario. En la Figura 40-2 se puede observar el diseño final del menú principal junto con la ubicación de cada uno de los botones.



Figura 40-2. Panel principal de la aplicación HMI del sistema.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.11.3.2. *Panel de ayuda*

La Figura 41-2 muestra el panel de ayuda que cuenta con información acerca de la aplicación HMI, así como, una breve descripción de la secuencia de funcionamiento del sistema, además de las características de cada uno de los paneles.

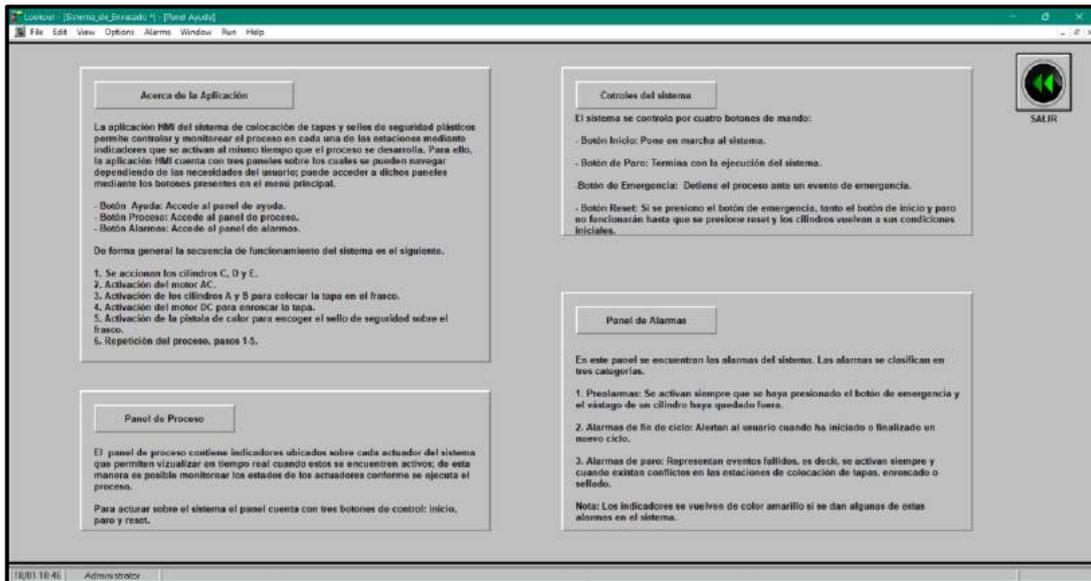


Figura 41-2. Panel de ayuda del sistema.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.11.3.3. *Panel de proceso*

Como se observa en la Figura 42-2, este panel nos permite controlar el sistema por medio de los botones inicio, paro, y reset. Además, de permitirnos monitorearlo mediante la visualización en tiempo real de la activación y desactivación de cada uno de los actuadores del sistema.



Figura 42-2. Panel de control y monitoreo del sistema.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.11.3.4. *Panel de alarmas*

Como se puede observar en la Figura 43-2, el panel de alarmas está clasificado en tres categorías. Cada una de ellas se activarán si existen eventos fallidos o ante una detención del sistema.

- Pre alarmas. Se activan siempre que se haya presionado el botón de emergencia y el vástago de un cilindro haya quedado fuera.
- Alarmas de fin de ciclo. Alertan al usuario cuando ha iniciado o finalizado un nuevo ciclo.
- Alarmas de paro. Representan eventos fallidos, es decir, se activan siempre y cuando existan conflictos en las estaciones de colocación de tapas, enroscado o sellado.

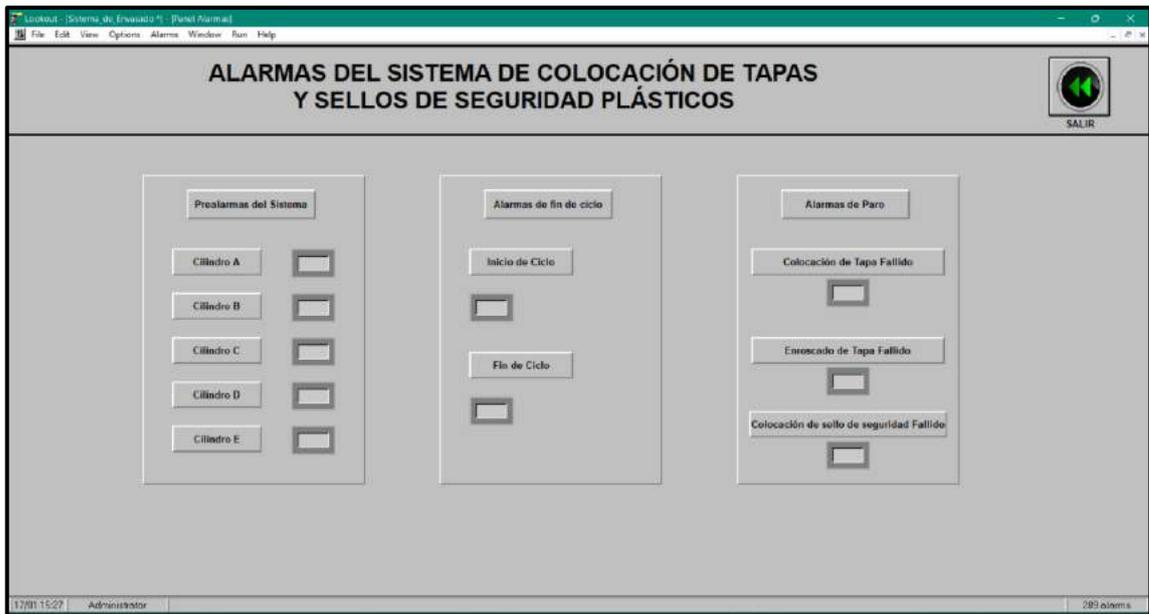


Figura 43-2. Panel de alarmas del sistema.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.11.4. Conexión de la aplicación con el PLC

2.11.4.1. Configuración dirección IP

Para poder conectar la aplicación con el PLC se utilizó un cable ethernet conectados en los respectivos puertos RJ45 del PLC y del computador. Posteriormente se configuró la red accediendo a Panel de control\Redes e Internet\Conexiones de red y configurando la dirección IP del puerto Ethernet en el que se conectó el computador. Como se observa en la Figura 44-2.

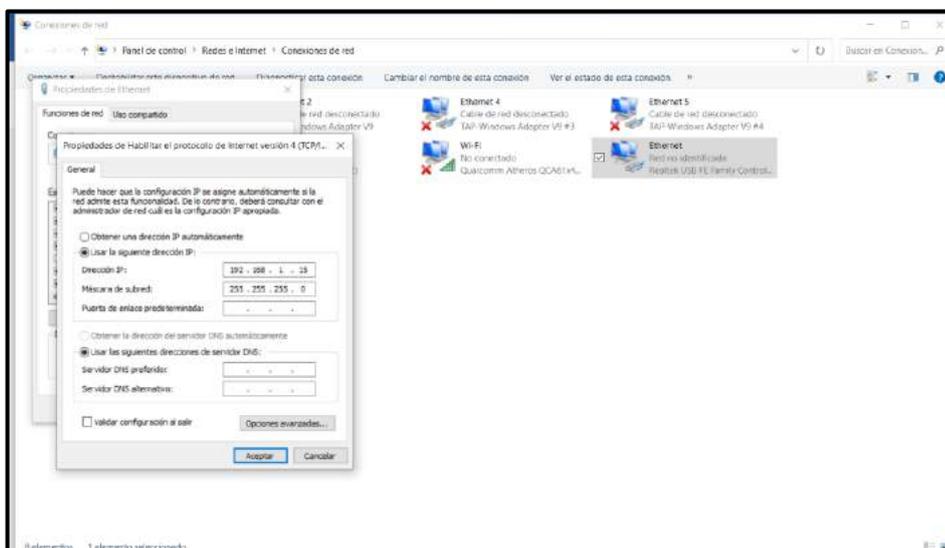


Figura 44-2. Configuración de IP de conexión Ethernet.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Para establecer la comunicación con el PLC se debe mantener la misma red 192.168.1, por lo que se le asignó al PLC la siguiente dirección IP. Como se observa en la Figura 45-2.



Figura 45-2. Asignación de IP en el PLC.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

2.11.4.2. Configuración de comunicación Modbus

Para iniciar con la configuración, primero se comprobó que el PLC si se encuentre conectado al computador; para ello, por medio del símbolo del sistema se hizo “ping 192.168.1.15” como se observa en la Figura 46-2.

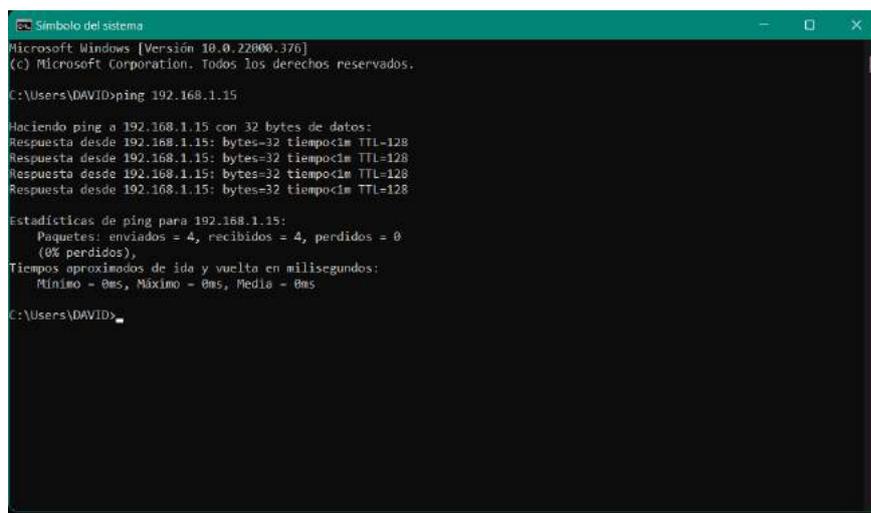


Figura 46-2. Comprobación de conexión generando ping.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Después, se procedió a realizar la conexión de las entradas y salidas del PLC en base a los botones e indicadores colocados en la aplicación HMI. Como la comunicación es de tipo Modbus, las memorias no empiezan desde 0, empiezan desde 1 y dado que se trata de escribir valores

booleanos en las memorias del PLC, se utilizó las direcciones Modbus comprendidas entre 1-9999 para asociar los botones e indicadores a utilizar con su respectivo valor (“value”) como se observa en la Figura 47-2.

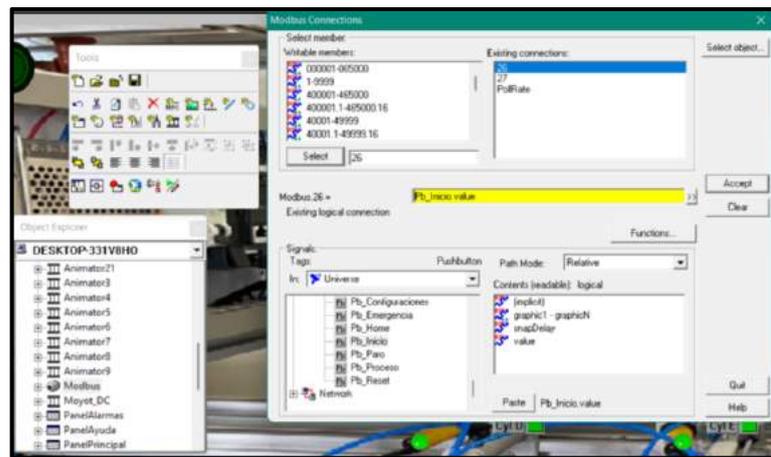


Figura 47-2. Configuración de botones en el HMI.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Para recibir datos del PLC en el computador se debe ubicar en las propiedades de los indicadores colocados y en las condiciones “if else”, colocar dentro de la condición “if”, la dirección Modbus correspondiente a la memoria que se activa en el PLC y se desea recibir en el computador, recordando aumentar en 1 al colocar en la dirección correspondiente, utilizando de igual forma las direcciones entre 1-9999 como se observa en la Figura 48-2.

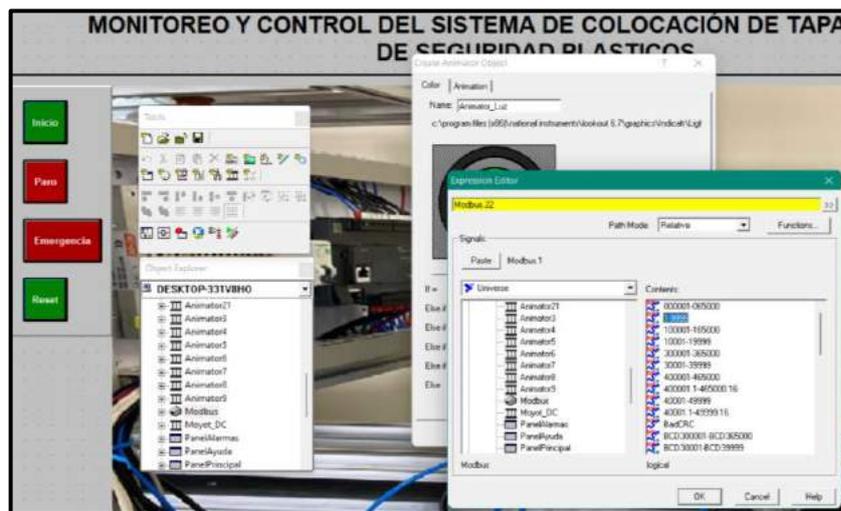


Figura 48-2. Conexión de indicadores en el HMI.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

A continuación, en la Tabla 14-2 se muestran las distintas memorias utilizadas en el programa del PLC, con sus respectivas direcciones configuradas en el software Lookout.

Tabla 14-2: Direcciones de memorias utilizadas en el HMI.

Direcciones de Memorias Utilizadas en el HMI		
Dirección de Memoria	Dirección Modbus	Descripción
%M1	Modbus.2	Memoria de inicio de ciclo
%M10	Modbus.11	Memoria de fin de ciclo
%M14	Modbus.15	Memoria de Motor AC
%M15	Modbus.16	Memoria de Cilindro A
%M16	Modbus.17	Memoria de Cilindro B
%M17	Modbus.18	Memoria de Cilindro C
%M18	Modbus.19	Memoria de Cilindro D
%M19	Modbus.20	Memoria de Cilindro E
%M21	Modbus.22	Memoria de Luz de encendido
%M22	Modbus.23	Memoria de Motor DC
%M23	Modbus.24	Memoria de Pistola de calor
%M25	Modbus.26	Memoria de Botón de Inicio
%M26	Modbus.27	Memoria de Botón de Paro
%M27	Modbus.28	Memoria de Botón de Emergencia
%M28	Modbus.29	Memoria de Botón de Reset
%M29	Modbus.30	Memoria de Alarma de paro 1
%M30	Modbus.31	Memoria de Alarma de paro 2
%M31	Modbus.32	Memoria de Alarma de paro 3
%M32	Modbus.33	Memoria de sensor de posición 1
%M33	Modbus.34	Memoria de sensor de posición 2
%M34	Modbus.35	Memoria de sensor de posición 3
%M42	Modbus.43	Memoria Luz de Emergencia
%M45	Modbus.46	Memoria de Alarma de Válvula A
%M46	Modbus.47	Memoria de Alarma de Válvula B
%M47	Modbus.48	Memoria de Alarma de Válvula C
%M48	Modbus.49	Memoria de Alarma de Válvula D
%M49	Modbus.50	Memoria de Alarma de Válvula E

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

CAPITULO III

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1. Pruebas de funcionamiento de fuente de alimentación

Para comprobar el funcionamiento correcto de la fuente de alimentación de la fuente de 24 V, una vez alimentada a los 110 V de la línea, se procedió a medir el voltaje de salida que enviaba la fuente como voltaje positivo y negativo. Dicha fuente cuenta con dos salidas de voltaje positivo y negativo, en la Tabla 1-3 se muestran los valores de voltaje arrojados por la fuente y el necesario para el funcionamiento del PLC.

Tabla 1-3: Valores de voltaje medidos en la fuente.

Nodo	Voltaje Medido	Rango de Voltaje Admitido	Condición
Nodo Positivo 1	24.7 V	19.2 V – 28.8 V	Correcta
Nodo Positivo 2	24.7 V	19.2 V – 28.8 V	Correcta

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.2. Pruebas de funcionamiento del PLC TM221CE24T

3.2.1. Pruebas de funcionamiento de entradas del PLC

Se conectó el PLC al software de programación, donde se realizó la conexión del PLC y se comprobó el correcto funcionamiento de las entradas. Para dicha comprobación, se utilizó un programa que permita mover la botonera a cada una de las entradas, y cambiar de entrada cada vez que se encendía la salida, de esta forma se comprobó que todas las entradas recibían señal y se accionaban correctamente.

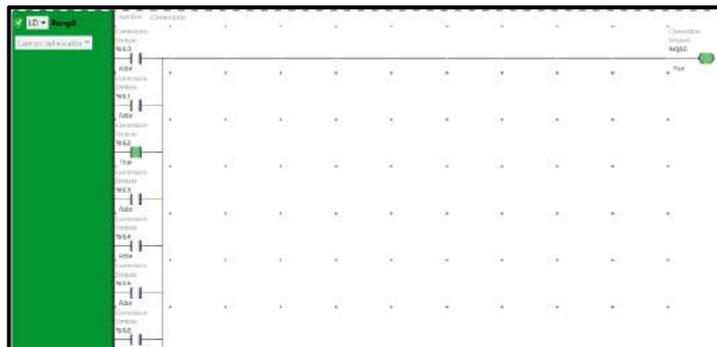


Figura 1-3. Programa de prueba de PLC

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)



Figura 2-3. Botonera para pruebas de PLC

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.2.2. Pruebas de funcionamiento de salidas del PLC

Para comprobar el correcto funcionamiento de cada una de las salidas, se conectaron los actuadores correspondientes y se procedió a ejecutar el programa principal del proyecto, observando si cada una de las salidas se accionaba en el momento indicado. Terminadas las pruebas, como se observa en la Figura 3-3, se comprobó el correcto funcionamiento de todas las salidas del PLC.



Figura 3-3. Prueba de salidas de PLC

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.3. Pruebas de funcionamiento de sensores

3.3.1. Prueba de funcionamiento de sensores magnéticos

Para comprobar el funcionamiento de los sensores magnéticos, se alimentaron los sensores a la fuente de alimentación y se utilizó un cilindro como comprobador; el cilindro se posicionó de forma saliente, por lo que se procedió a comprobar el correcto funcionamiento de cada sensor al colocarlos en el extremo del cilindro y observar si el led de cada sensor llegaba a encenderse. Después de realizarse las pruebas, se comprobó el funcionamiento de los sensores magnéticos como se observa en la Figura 4-3.

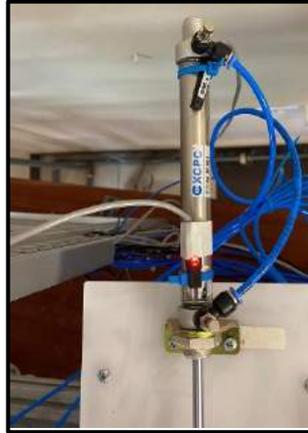


Figura 4-3. Prueba de sensores magnéticos

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.3.2. *Prueba de funcionamiento de sensores ópticos*

Para esta prueba, se conectaron cada uno de los sensores ópticos al voltaje positivo y negativo, después se conectó su cable de señal hacia el PLC y se colocó los sensores sobre la banda transportadora. Después, se encendió la fuente y se observó en el PLC que cada una de sus entradas conectadas se encendiera, como se observa en la Figura 5-3, cuando se colocaba un objeto en frente de estos, comprobando así el correcto funcionamiento de los sensores ópticos.



Figura 5-3. Prueba de sensores ópticos

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.4. Prueba de funcionamiento de electroválvulas

Para comprobar el correcto funcionamiento de las electroválvulas, se colocaron todos los cilindros en la posición designada dentro de cada módulo. Después, se conectaron las mangueras que alimentarían a los cilindros a cada una de sus electroválvulas y se procedió a alimentar el banco de electroválvulas. Se comprobó el correcto funcionamiento de cada electroválvula cuando se presionaba su pulsador y el vástago del cilindro accionado salía.



Figura 6-3. Prueba de funcionamiento de electroválvulas

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.5. Prueba de funcionamiento de la banda transportadora

Para el desarrollo de esta prueba, después de que se instaló el motor y conectó el variador de frecuencia, se procedió a conectar a la línea trifásica la alimentación del variador de frecuencia. Como se observa en la Figura 7-3, se presionó el pulsador de prueba del relé auxiliar con la finalidad de cerrar sus contactos y el motor procedió a encenderse, por lo que se concluye que la banda transportadora funciona de forma correcta.

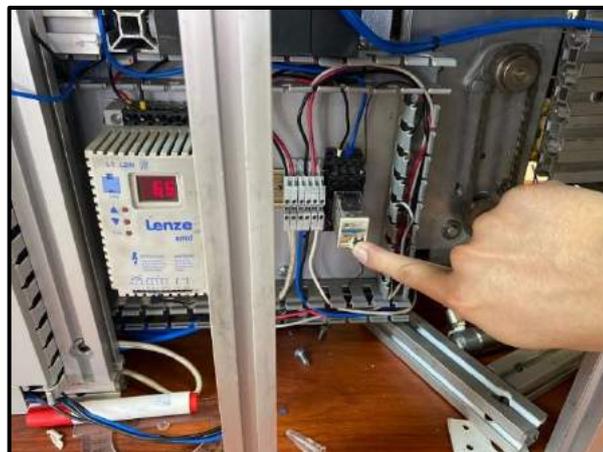
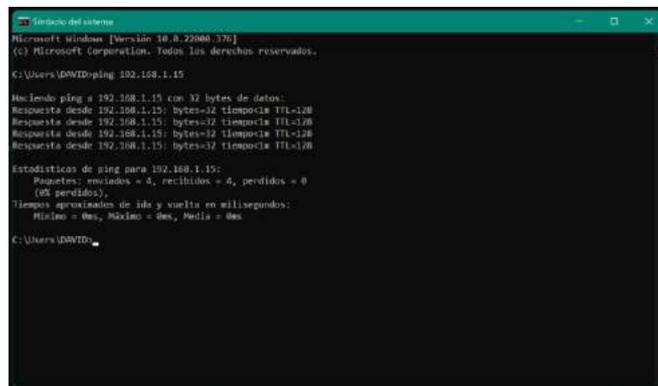


Figura 7-3. Prueba de funcionamiento de motor

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.6. Prueba de conexión entre el computador y el PLC

Una vez que el PLC y el computador se conectaron mediante cable ethernet, se procedió a realizar la prueba de conexión utilizando la aplicación de “Símbolo del sistema” y escribiendo el comando “ping 192.168.1.15”. Como se observa en la Figura 8-3, se produjo la conexión al enviar y recibir 4 paquetes.



```
Microsoft Windows [Versión 10.0.22000.376]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\DAVID>ping 192.168.1.15

Haciendo ping a 192.168.1.15 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.15: bytes=32 tiempo=128 TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.1.15:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
            (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms

C:\Users\DAVID>
```

Figura 8-3. Prueba de conexión entre el PLC y el computador mediante ping.
Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Después, con la comunicación Modbus configurada, se inició el programa utilizando los botones configurados en el HMI, observando si la luz de encendido tanto del HMI como la de la botonera conectada al PLC se encendían. Como se observa en la Figura 9-3, ambas luces se encendieron.



Figura 9-3. Prueba de control de encendido del sistema mediante HMI.
Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Y a su vez, se presionó el botón de Paro en el HMI, observando que tanto el indicador del HMI, como la luz de la botonera conectada al PLC se apagaron, como se observa en la Figura 10-3. Asegurando así la correcta conexión entre el PLC y el computador.



Figura 10-3. Prueba de control de apagado del sistema mediante HMI.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.7. Validación de los módulos del sistema

Para verificar el diseño del sistema propuesto se procedió a realizar validaciones de los tres módulos implementados, para ello, se utilizaron cuatro frascos de prueba, rellenos de trozos de papel que representan el contenido del producto envasado, para cada prueba realizada se asignaron resultados basándose en una rúbrica de calificación que se determinó para cada validación. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

3.7.1. Validación del módulo de colocación de tapas

Se desea que el módulo genere un correcto desplazamiento de la tapa hacia el envase, y que la tapa se coloque sobre la boca del envase, por lo que la evaluación de estos dos parámetros permitirá validar el funcionamiento del módulo, para ello se realizaron pruebas sujetas a una rúbrica de evaluación que permita valorar y clasificar los resultados obtenidos. Dicha rúbrica se observa en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Rúbrica de calificación para validar el módulo de colocación de tapas

Calificación	Parámetros	
	Desplazamiento de la tapa hacia el envase	Colocación de la tapa en la boca del envase
4 (muy buena)	Tapa desplazada correctamente	Tapa se aloja alineada y centrada sobre la boca del envase
3 (buena)	Tapa desplazada correctamente	Tapa se ubica descentrada respecto a la boca del envase
2 (regular)	Tapa desplazada con dificultad	Tapa no se ubica sobre la boca del envase, queda en suspensión
1 (no satisfactorio)	La tapa no se desplaza	Envase sin tapa, tapa atascada en el módulo

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

La primera prueba realizada al módulo de colocación de tapas, se hizo regulando el flujo de aire al 20% para el cilindro doble, que empuja la tapa hacia el envase. Los resultados obtenidos están sujetos a la rúbrica de evaluación según la Tabla 2-3 y se muestran a continuación en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Calificaciones de primera prueba de colocación de tapas

Muestra No.	Calificación de la colocación de tapa con regulación de flujo al 20%	Observaciones
Frasco 1	3	Cumple
Frasco 2	2	No cumple
Frasco 3	2	No cumple
Frasco 4	3	Cumple

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

La segunda prueba realizada en el módulo de colocación de tapas, se hizo regulando el flujo de aire al 80%, los resultados obtenidos se observan en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Calificaciones de segunda prueba de colocación de tapas

Muestra No.	Calificación de la colocación de tapa con regulación de flujo al 80%	Observaciones
Frasco 1	3	Cumple
Frasco 2	3	Cumple
Frasco 3	4	Cumple
Frasco 4	4	Cumple

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

En base a los promedios resultantes de las pruebas realizadas, se puede observar que la segunda prueba obtuvo una mejor valoración en comparación a la primera prueba. A continuación, en la Gráfica 1-3, se observan los resultados obtenidos de cada frasco durante las pruebas realizadas con el regulador de flujo al 20% y 80% en base a la rúbrica de evaluación de la Tabla 2-3, donde se aprecian mejores resultados arrojados por la segunda prueba.

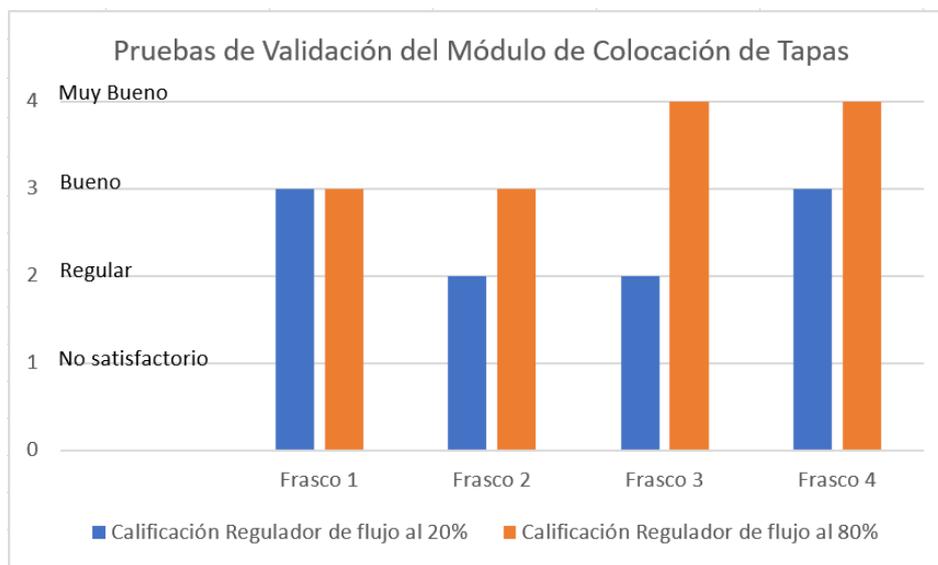


Gráfico 1-3. Calificaciones de la colocación de tapas

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

En la Figura 11-3, se pueden visualizar los frascos luego de realizada la prueba con el regulador de flujo al 80%, y se observa: que las tapas del frasco 1 y frasco 2 no se acoplan de forma correcta sobre la boca del envase, mientras que las tapas del frasco 3 y frasco 4 se acoplan correctamente sobre la boca de los envases.



Figura 11-3. Resultados obtenidos con regulador de flujo al 80%.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.7.2. Validación del módulo de enroscado de tapas

Se desea que la tapa rote en el contorno de la boca del frasco y se enrosque correctamente, de modo que la evaluación de estos parámetros validará el funcionamiento del módulo de enroscado de tapas. Para validar el funcionamiento del módulo se realizaron pruebas para enroscar la tapa al frasco, las cuales fueron evaluadas en base a la rúbrica de evaluación con el objetivo de valorar y clasificar los resultados obtenidos. A continuación, en la Tabla 5-3, se muestra la rúbrica de evaluación utilizada en el módulo de enroscado de tapas.

Tabla 5-3: Rúbrica de evaluación para validar el módulo de enroscado de tapas

Calificación	Parámetros	
	Rotación de la tapa	Colocación de la tapa enroscada
4 (muy buena)	Al accionar el motor, la tapa gira continuamente	Tapa enroscada correctamente
3 (buena)	Al accionar el motor, la tapa gira continuamente	Tapa enroscada parcialmente
2 (regular)	Al accionar el motor, la tapa gira con dificultad	Tapa enroscada incorrectamente
1 (pésimo)	El motor se acciona, pero la tapa no gira	Tapa no enroscada

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Con la finalidad de determinar el tiempo óptimo de trabajo del motor DC CORE REX para enroscar las tapas, se realizaron pruebas variando el tiempo entre 2 y 3 segundos para cada uno de los frascos. Los resultados obtenidos están sujetos a la rúbrica de evaluación (Tabla 5-3), dichos resultados se muestran en la Tabla 6-3

Tabla 6-3: Calificaciones de la primera prueba de enroscado de tapas.

Muestra No.	Calificación Enroscado de tapa en 2 seg.	Observación
Frasco 1	2	No cumple
Frasco 2	2	No cumple
Frasco 3	2	No cumple
Frasco 4	3	Cumple

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Para la segunda prueba se cambió el tiempo de encendido del motor DC y se lo encendió por 3 segundos en cada frasco, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3: Calificaciones de la segunda prueba de enroscado de tapas.

Muestra No.	Calificación Enroscado de tapa en 3 seg.	Observaciones
Frasco 1	4	Cumple
Frasco 2	2	No cumple
Frasco 3	4	Cumple
Frasco 4	2	No cumple

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

En el Gráfico 2-3 se evidencian los resultados de las pruebas basadas en la rúbrica de observación, donde se observa que en la segunda prueba se obtuvo una mejor valoración para el enroscado de las tapas y los frascos con un tiempo de trabajo del motor de 3 segundos.

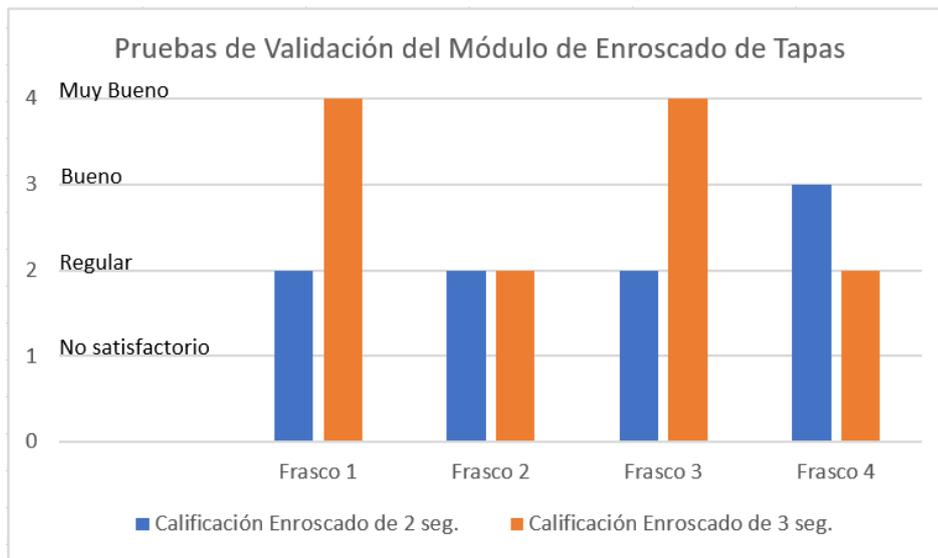


Gráfico 2-3. Calificación de enroscado de tapas

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

La Figura 12-3 refleja de forma visual los resultados obtenidos con el motor encendido durante 3 segundos, pudiendo observar que los frascos 1 y 3 se enroscaron correctamente y los frascos 2 y 4 presentaron deficiencias en el enroscado de la prueba realizada.



Figura 12-3. Resultados obtenidos con tiempo activo del motor de 3 segundos.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.7.3. Validación del módulo de sellado de envases

Las condiciones consideradas para validar si un envase está bien sellado o no fueron verificar cómo el precinto se comprime sobre el frasco y cómo se comprime sobre la tapa, en caso de que no se cumplan las dos condiciones, significa que el envase no se selló completamente. Se realizaron 3 pruebas con 3 tiempos distintos de encendido de la pistola de calor de manera que se pueda comparar los resultados de cada prueba y determinar el mejor tiempo de trabajo.

El tiempo de trabajo de la pistola de calor para la primera prueba, fue de 4 segundos para cada uno de los 4 frascos, observando si los precintos al contraerse por el calor adquirían o no la forma tanto del envase como de la tapa, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3: Resultados de la primera prueba de sellado de frascos.

Resultados con tiempo de sellado de 4 segundos			
Frasco	Precinto adquiere la forma del envase	Precinto adquiere la forma de la tapa	Observación
Frasco 1	No cumple	No cumple	Frasco no sellado
Frasco 2	No cumple	No cumple	Frasco no sellado
Frasco 3	No cumple	No cumple	Frasco no sellado
Frasco 4	No cumple	No cumple	Frasco no sellado

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Para la segunda prueba, se aumentó el tiempo de la pistola de calor a 6 segundos y se evaluaron los mismos parámetros de la prueba anterior, como se observa en la Tabla 9-3.

Tabla 9-3: Resultados de la Segunda prueba de sellado de frascos.

Resultados con tiempo de sellado de 6 segundos			
Frasco	Precinto adquiere la forma del envase	Precinto adquiere la forma de la tapa	Observación
Frasco 1	No cumple	No cumple	Frasco no sellado
Frasco 2	No cumple	No cumple	Frasco no sellado
Frasco 3	No cumple	No cumple	Frasco no sellado
Frasco 4	Cumple	Cumple	Frasco sellado, pero tapa sellada parcialmente

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Para la tercera y última prueba se aumentó el tiempo de acción de la pistola de calor a 8 segundos para cada uno de los 4 frascos y se observó nuevamente si los precintos al contraerse adquirirían la forma de la boca del envase y la tapa. Los resultados se muestran en la Tabla 10-3.

Tabla 10-3: Resultados de la tercera prueba de sellado de frascos.

Resultados con tiempo de sellado de 8 segundos			
Frasco	Precinto adquiere la forma del envase	Precinto adquiere la forma de la tapa	Observación
Frasco 1	Cumple	Cumple	Frasco y tapa sellados
Frasco 2	Cumple	Cumple	Frasco y tapa sellados
Frasco 3	Cumple	Cumple	Frasco y tapa sellados
Frasco 4	Cumple	Cumple	Frasco sellado, pero tapa sellada parcialmente

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

Al comparar los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas, se observa que, en la prueba realizada con un tiempo de operación de la pistola de calor igual a 8 segundos, se obtienen los mejores resultados, pues todos los frascos llegaron a sellarse.

En la Figura 13-3 y 14-3 se puede observar en vistas frontal y superior los frascos sellados al concluir la tercera prueba, donde los frascos 1, 2 y 3 cumplen con las condiciones propuestas y el frasco 4 presenta un precinto que no se comprime totalmente a la forma de la tapa.



Figura 13-3. Resultados del sellado con 8 segundos, vista frontal

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)



Figura 14-3. Resultados del sellado con 8 segundos, vista superior.

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.7.4. Validación del desempeño del sistema

Para esta prueba se utilizaron las condiciones en las que el sistema muestra una mejor calificación en el proceso de colocación de tapas y sellos de seguridad, utilizando como base los parámetros de las tablas 4-3, 7-3 y 10-3, se determinó una regulación de flujo al 80% para el módulo de colocación de tapas, un tiempo de 3 segundos para el motor del módulo de enroscado de tapas y un tiempo de 8 segundos para el encendido de la pistola de calor del módulo de sellado de envases. Con los parámetros configurados, se utilizaron los 4 frascos de vidrio como muestra y se procedió a poner en marcha el sistema, observando cuántos envases atravesaron el sistema y se sellaron en 1 minuto. A continuación, en la Tabla 11-3, se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 11-3: Tiempo de tapado y sellado de cada frasco

Frasco No.	Tiempo transcurrido en el sistema
Frasco 1	21 segundos
Frasco 2	19 segundos
Frasco 3	20 segundos
Frasco 4	Fuera de tiempo

Realizado por: (Amaguayo y Pilamunga, 2021)

3.8. Análisis de costos

Para el análisis de costos del sistema, se consideraron todos los elementos, dispositivos de control, actuadores y sensores. A continuación, se detallan dichos costos.

Cantidad	Detalle	Valor Unitario	Valor Total
1	PLC TM221CE24T	\$ 385.60	\$ 385.60
5	Cilindros Neumáticos	\$ 30	\$ 150
7	Sensores Magnéticos	\$ 15	\$ 105
3	Sensor de posición	\$ 20	\$ 60
	Manguera	\$ 10	\$ 10
1	Estructura para pistola	\$ 35	\$ 35
1	Pistola de calor	\$ 20	\$ 20
	Piezas inyectadas	\$ 60	\$ 60
	Aluminio	\$ 100	\$ 100
	Varios	\$ 105	\$ 105
	Equipo y Herramientas	\$ 40	\$ 40
10	Racores	\$ 5	\$ 50
1	Banco de electroválvulas	\$ 180	\$ 180
	Fabricación de piezas	\$ 470	\$ 470
	Total:		\$ 1770.60

CONCLUSIONES

- En el desarrollo del sistema de colocación de tapas y sellos de seguridad plásticos se utilizaron sensores y actuadores eléctricos y neumáticos, entre otros. Además, se utilizó un autómata programable como el PLC Schneider TM221CE24T, el mismo que fue programado con el software EcoStruxure, para el control del hardware implementado que consta de tres módulos: Colocación de tapas, Enroscamiento y Sellado.
- Mediante el uso de un software CAD se diseñaron los módulos de tapado y sellado en base a los espacios físicos disponibles en el sistema de envasado del Laboratorio de Automatización y los requerimientos planteados en el proyecto.
- Las pruebas de funcionamiento realizadas de manera independiente en los actuadores, sensores y elementos de control, muestran que el sistema implementado no presenta fallos en las conexiones del circuito neumático ni tampoco en las conexiones del circuito eléctrico, obteniendo un sistema totalmente funcional.
- Para la comunicación entre el PLC y el servidor Lookout, se utilizó las direcciones el protocolo Modbus, que permite leer y escribir bits para controlar el proceso desde la aplicación HMI.
- Mediante la validación experimental de los módulos implementados en el sistema de envasado se determinó que, basándose en las características del envase a utilizar con una altura, ancho, largo y diámetro de tapa de 6.5 cm, con un tipo de rosca 400, de 1 vuelta de cuerda y espesor de la tapa de 2 cm; se obtienen mejores resultados cuando en el cilindro doble del módulo de colocación de tapas se aplica un mayor caudal, el motor DC del módulo de enroscado se acciona durante un tiempo de 3 segundos para que no exceda el número de vueltas en la rosca y la pistola de calor del módulo de sellado permanece encendida durante 8 para encoger el material termoencogible al material del envase.
- El sistema automatizado de colocación de tapas y sellos de seguridad para envases de vidrio desarrollado permite procesar (tapar y sellar) 3 frascos en el lapso de 1 minuto.

RECOMENDACIONES

- Para obtener mejores resultados en la colocación de tapas y enroscado, alinear la rosca de la tapa con la rosca del frasco.
- Revisar la salida de aire hacia las electroválvulas, puesto a que, si se encuentra sin utilizar, podría arrojar en primeras instancias aire acompañado de líquido, lo que podría causar daños o pérdidas en los equipos utilizados.
- Si se desea disminuir la distancia de funcionamiento de los sensores ópticos, se pueden calibrar para medir a una menor distancia o se puede colocar un material que absorba el haz de luz emitido por el sensor, se recomienda utilizar fomix negro.
- Revisar el estado de la pistola de calor en caso de que se desgaste por demasiado uso o se encuentre a altas temperaturas el dispositivo, se puede cambiar el uso de la pistola de calor por una cámara térmica que encoja el sello termoencogible de manera uniforme en el contorno del envase de vidrio.

BIBLIOGRAFIA

BOLTON, W. *Programmable Logic Controllers. 2ª ed.* [en línea]. Elsevier, 2009. [Consulta: 4 junio 2021]. Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPLCE0043/programmable-logic-controllers/programmable-logic-controllers>

CREUS SOLE, A. *Neumática e hidráulica* [en línea]. Barcelona: Marcombo, 2008. [Consulta: 2 junio 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/45915?>

DANERI, P. A. *PLC: automatización y control industrial* [en línea]. Buenos Aires, Argentina: Editorial Hispano Americana HASA, 2009. [Consulta: 11 junio 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/66558?>

ENTRENA GONZÁLEZ, F. J. *Instalación de equipos y elementos de sistemas de automatización industrial* [en línea]. ELEM0311. Antequera, Málaga: IC Editorial, 2015. [Consulta: 12 junio 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/59238?>

ENVASELIA. *Envases: Funciones y características* [blog]. Consulta: 29 junio 2021]. Disponible en: <https://www.envaselias.com/blog/envases-funciones-y-caracteristicas-id20.htm>

FRANK, E. *Fundamentos de neumática y electroneumática* [en línea]. Festo Didactic GmbH & Co. KG, 2010. [Consulta: 9 junio 2021]. Disponible en: www.festo-didactic.com

GARCÍA MORENO, E. *Automatización de procesos industriales: robótica y automática* [en línea]. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2020. [Consulta: 2 junio 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/129686?>

GHOSH, ARABINDA. *Technology of Polymer Packaging* [en línea]. Hanser Publishers, 2015. [Consulta: 29 junio 2021]. Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpTPP00005/technology-polymer-packaging/technology-polymer-packaging>

HERAS JIMÉNEZ, S. D. L. *Instalaciones neumáticas* [en línea]. Barcelona, Spain: Editorial UOC, 2013. [Consulta: 2 junio 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/56300?>

HUDEMANI, Mallikarjun; et al. "Programmable Logic Controller (PLC) in Automation". *Advanced Journal of Graduate Research* [en línea], 2017, (India), volumen (2), pp. 37-45. [Consulta: 28 junio 2021]. ISSN: 2456-7108. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318083987_Programmable_Logic_Controller_PLC_in_Automation

infoPLC. *Normas representación esquemas eléctricos* [blog]. Consulta: 28 junio 2021]. Disponible en: <https://www.infopl.net/documentacion/236-esquemas-electricos/2351-normativa-esquemas-electricos>

infoPLC. Introducción a interfaces Hombre-Máquina-SCADA [blog]. Consulta: 1 julio 2021]. Disponible en: <https://infopl.net/documentacion/10-hmi-scada/2473-manual-interfaces-hombre-%C2%ADmaquina-scada>

LENZE. *Convertidor de frecuencia SMD* [blog]. [Consulta: 5 julio 2021]. Disponible en: <https://www.lenze.com/es-es/productos/productos-antecesoros/frequency-inverters/convertidor-de-frecuencia-smd/>

MARTÍN CASTILLO, Juan; & GARCÍA GARCÍA, María. *Automatismos industriales* [en línea]. Madrid, España: Editorial Editex, S. A., 2009. [Consulta: 7 junio 2021]. Disponible en: <https://www.elsolucionario.org/automatismos-industriales-juan-carlos-martin-maria-pilar-garcia-1ra-edicion/>

MORENO ZARAGOZA, Fermín; & ZUBIAURRE LUSA, Joseba. *Automatismos y cuadros eléctricos. 2ª ed.* [en línea]. Barcelona, Spain: Cano Pina, 2014. [Consulta: 24 junio 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/43095?>

RODRÍGUEZ PENIN, A. *Sistemas SCADA. 2ª ed.* [en línea]. Barcelona, Spain: Marcombo, 2008. [Consulta: 2 junio 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/45922?>

REV Robotics. *Especificaciones motor CORE REX* [blog]. [Consulta: 6 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.revrobotics.com/rev-41-1300/>

SELKE, SUSAN E. M; & CULTER, JOHN D. *Plastics Packaging - Properties, Processing, Applications, and Regulations. 3ª ed.* [en línea]. Hanser Publishers, 2016. [Consulta: 25 junio

2021]. Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPPPPARE1/plastics-packaging-properties/plastics-packaging-properties>

SIEMENS. *Diseño asistido por ordenador (CAD)* [blog]. [Consulta: 25 junio 2021]. Disponible en: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>

VÁSQUEZ CORTÉS, J. C. *Automatización electroneumática: métodos sistemáticos* [en línea]. Bogotá, Ediciones de la U, 2017. [Consulta: 4 junio 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/93364?>

ANEXOS

ANEXO A: Anexos de programación de PLC.

The screenshot shows the configuration interface for a PLC. On the left is a tree view with the following structure:

- Mensajes
 - MyController (TM221CE24T)
 - Entradas digitales
 - Salidas digitales
 - Entradas analógicas
 - Contadores muy rápidos
 - Generadores de pulsos
 - Bus de E/S
 - ETH1
 - Modbus TCP
 - Adaptador Ethernet/IP
 - SL1 (línea serie)
 - Modbus

The main window displays the 'Ethernet' configuration for device 'M021':

- Nombre de dispositivo: M021
- Dirección IP de DHCP
- Dirección IP de BOOTP
- Dirección IP fija
 - Dirección IP: 192 - 168 - 1 - 10
 - Máscara de subred: 255 - 255 - 255 - 0
 - Dirección de pasarela: 0 - 0 - 0 - 0
- Velocidad de transmisión: Automático

Parámetros de seguridad

- Protocolo de programación habilitado
- Protocolo EtherNet/IP habilitado
- Servidor Modbus habilitado
- Protocolo de descubrimiento automático habilitado

Propiedades de Entrada digital

Utiliz...	Dirección	Símbolo	Co
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.0	PARO	
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.1	INICIO	
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.2	S1_P1	
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.3	S2_P2	
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.4	S3_P3	
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.5	S4_A1	
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.6	S5_B1	
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.7	S6_C0	
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.8	S7_A0	
<input checked="" type="checkbox"/>	%I0.9	S8_E1	
<input type="checkbox"/>	%I0.10		

Propiedades de Salida digital

Utiliz...	Dirección	Símbolo
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.0	MOTOR_AC
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.1	A_MAS
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.2	B_MAS
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.3	C_MAS
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.4	D_MAS
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.5	E_MAS
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.6	LUZ
<input type="checkbox"/>	%Q0.7	
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.8	PISTOLA
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.9	MOTOR_DC

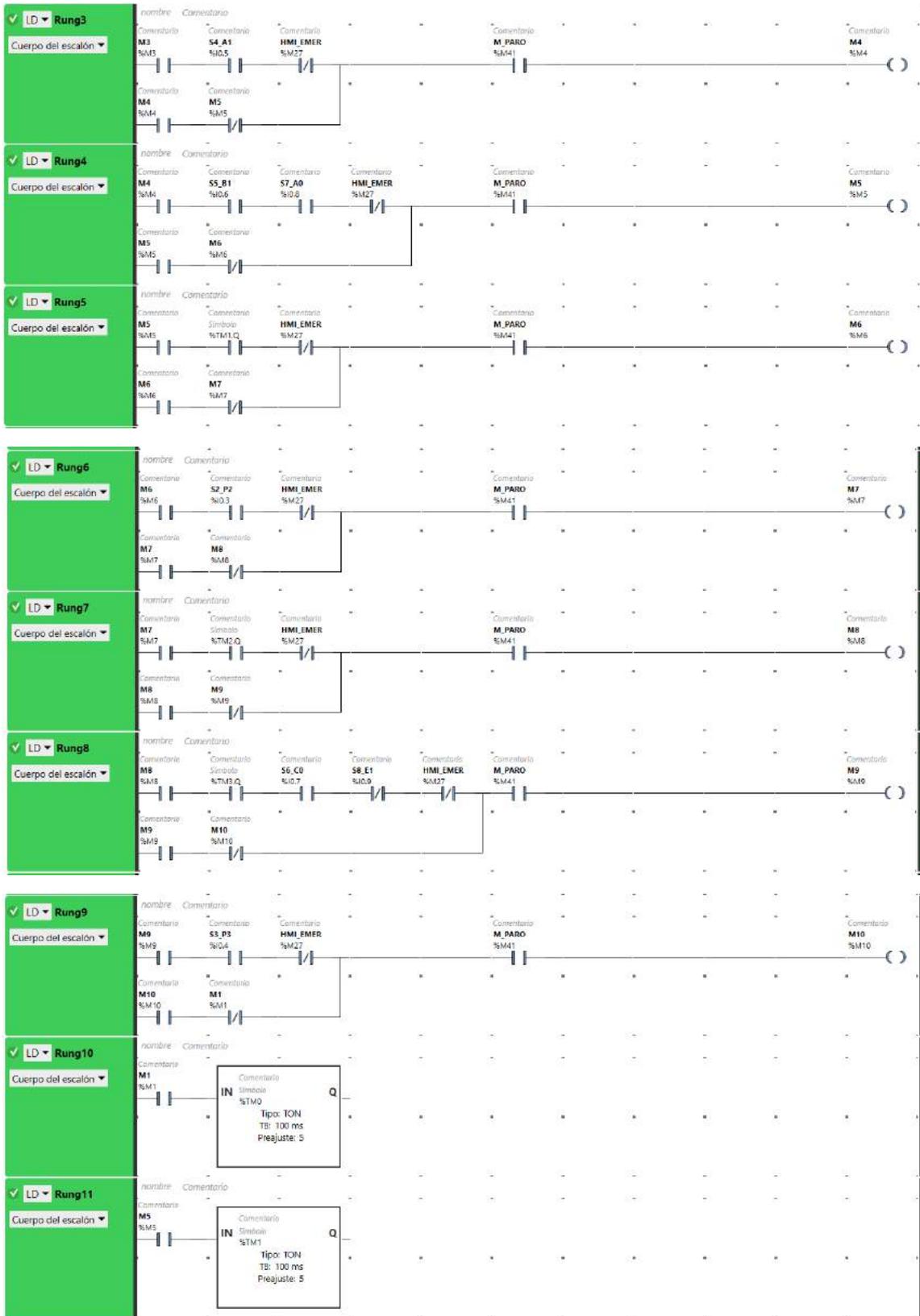
Utiliz...	Dirección	Símbolo	Comentario
<input type="checkbox"/>	%M0	M0	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M1	M1	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M2	M2	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M3	M3	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M4	M4	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M5	M5	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M6	M6	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M7	M7	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M8	M8	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M9	M9	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M10	M10	
<input type="checkbox"/>	%M11	M11	
<input type="checkbox"/>	%M12	M12	
<input type="checkbox"/>	%M13	M13	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M14	M_MOTOR_AC	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M15	M_V1	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M16	M_V2	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M17	M_V3	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M18	M_V4	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M19	M_V5	
<input type="checkbox"/>	%M20	M_V6	

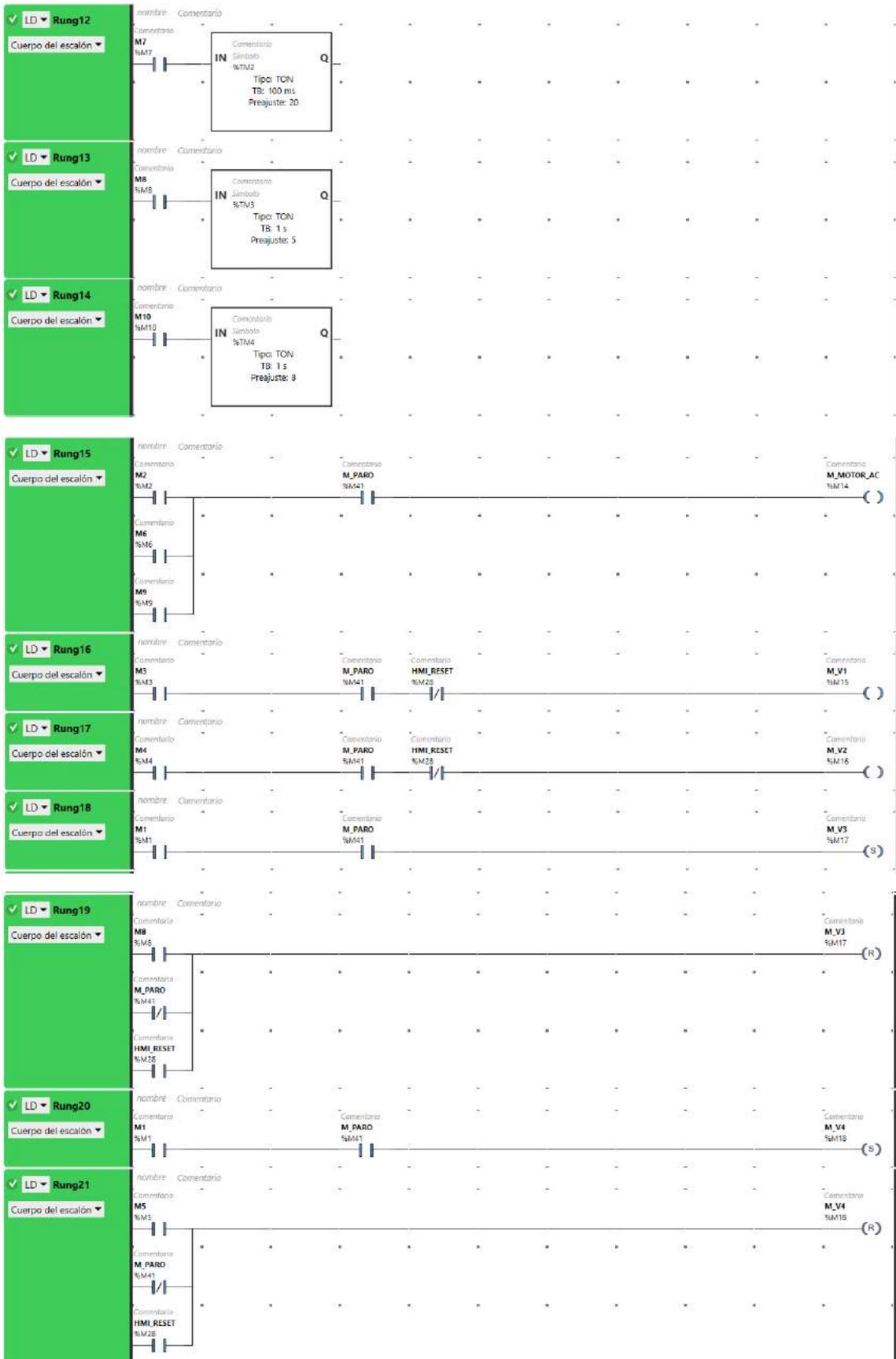
Propiedades de Bit de memoria

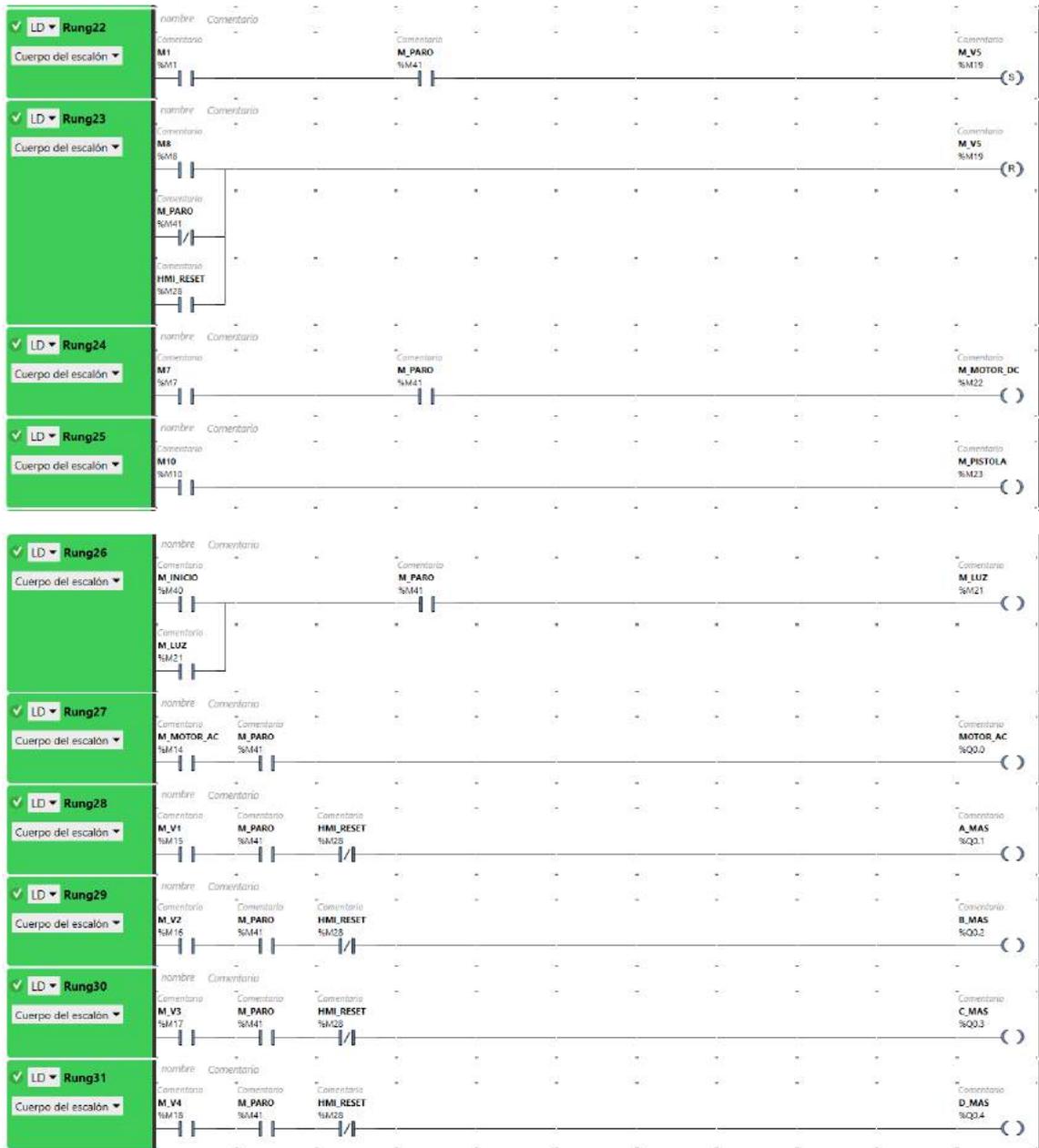
Vista de tabla

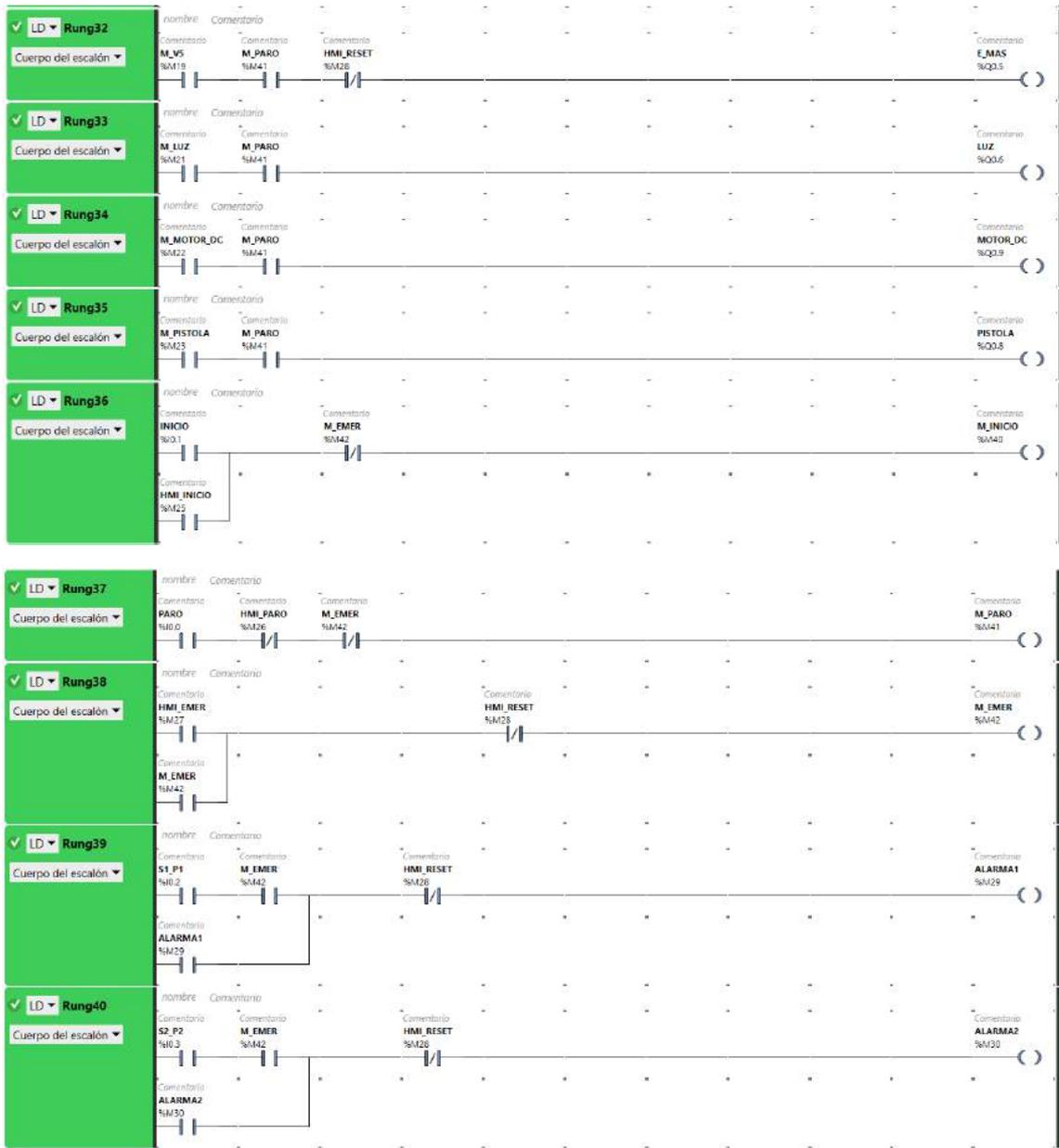
Búsqueda rápida

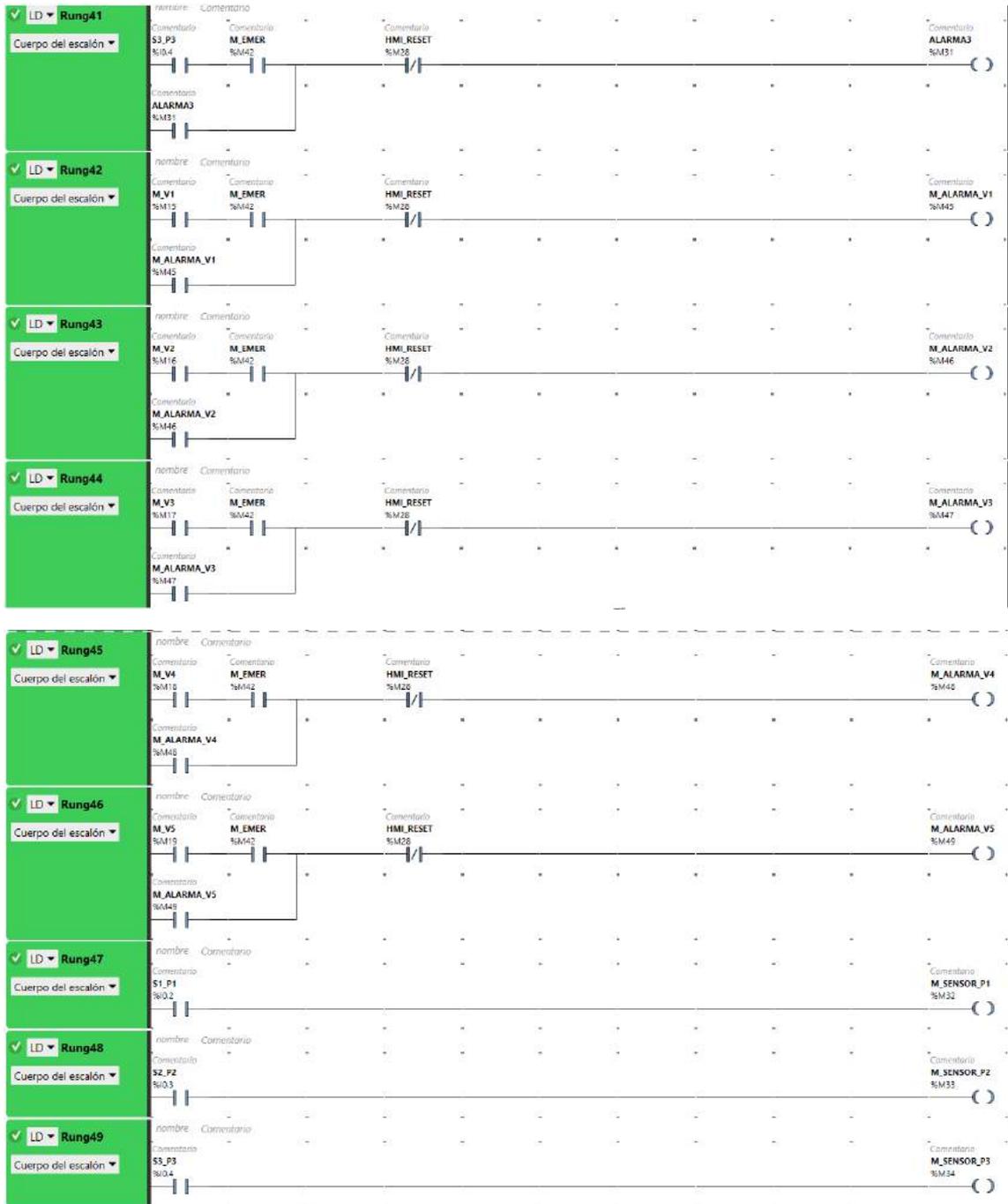
Utiliz...	Dirección	Símbolo	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	%M9	M9	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M10	M10	
<input type="checkbox"/>	%M11	M11	
<input type="checkbox"/>	%M12	M12	
<input type="checkbox"/>	%M13	M13	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M14	M_MOTOR_AC	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M15	M_V1	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M16	M_V2	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M17	M_V3	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M18	M_V4	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M19	M_V5	
<input type="checkbox"/>	%M20	M_V6	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M21	M_LUZ	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M22	M_MOTOR_DC	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M23	M_PISTOLA	
<input type="checkbox"/>	%M24	M_PARO	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M25	M_INICIO	
<input type="checkbox"/>	%M26	M_RESET	
<input type="checkbox"/>	%M27	M_EMERGENCIA	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M28	B_PARO	
<input checked="" type="checkbox"/>	%M29	B_INICIO	
<input type="checkbox"/>	%M30		











ANEXO B: Datasheet del PLC TM221CE24T

Product datasheet Characteristics

TM221CE24T



Main

Range of product	Modicon M221
Product or component type	Logic controller
[Us] rated supply voltage	24 V DC
Discrete input number	14 discrete input conforming to IEC 61131-2 Type 1 including 4 fast input
Analogue input number	2 at input range: 0...10 V
Discrete output type	Transistor
Discrete output number	10 transistor including 2 fast output
Discrete output voltage	24 V DC
Discrete output current	0.5 A

Complementary

Discrete I/O number	24
Number of I/O expansion module	<= 7 transistor output <= 7 relay output
Supply voltage limits	20.4...28.8 V
Inrush current	<= 35 A
Power consumption in W	<= 14 Wat 24 V with max number of I/O expansion module <= 4.8 Wat 24 V without I/O expansion module
Power supply output current	0.52 A at 5 V expansion bus 0.2 A at 24 V expansion bus
Discrete input logic	Sink or source (positive/negative)
Discrete input voltage	24 V
Discrete input voltage type	DC
Analogue input resolution	10 bits
LSB value	10 mV
Conversion time	1 ms per channel + 1 controller cycle time analog input
Permitted overload on inputs	+/- 30 V DC analog input with 5 min maximum +/- 13 V DC analog input permanent
Voltage state 1 guaranteed	>= 15 V input
Voltage state 0 guaranteed	<= 5 V input
Discrete input current	7 mA discrete input 5 mA fast input
Input impedance	4.9 kOhm fast input 3.4 kOhm discrete input 100 kOhm analog input
Response time	35 µs turn-off operation input; I2...I5 terminal 5 µs turn-on operation fast input; I0, I1, I6, I7 terminal 35 µs turn-on operation input; other terminals terminal 5 µs turn-off operation fast input; I0, I1, I6, I7 terminal 100 µs turn-off operation input; other terminals terminal 5 µs turn-on, turn-off operation output; Q0...Q1 terminal 50 µs turn-on, turn-off operation output; Q2...Q3 terminal 300 µs turn-on, turn-off operation output; other terminals terminal
Configurable filtering time	0 ms input 12 ms input 3 ms input
Discrete output logic	Positive logic (source)
Current per output common	5 A
Output frequency	100 kHz fast output (PWM/PLS mode) at Q0...Q1 terminal 5 kHz output at Q2...Q3 terminal 0.1 kHz output at Q4...Q9 terminal

The information provided in this document contains general descriptions and/or technical characteristics of the products contained herein. It is the duty of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with respect to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industries SAS nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

Absolute accuracy error	+/- 1 % of full scale analog input
Leakage current	0.1 mA transistor output
Voltage drop	<= 1 V
Mechanical durability	>= 20000000 cycles transistor output
Tungsten load	<= 12 W output and fast output
Protection type	Overload and short-circuit protection at 1 A
Reset time	1 s automatic reset
Memory capacity	256 kB user application and data RAM with 10000 instructions 256 kB internal variables RAM
Data backed up	256 kB built-in flash memory backup of application and data
Data storage equipment	2 GB SD card optional
Battery type	BR2032 lithium non-rechargeable, battery life: 4 yr
Backup time	1 year at 77 °F (25 °C) by interruption of power supply
Execution time for 1 KInstruction	0.3 ms event and periodic task
Execution time per instruction	0.2 µs Boolean
Ext time for event task	60 µs response time
Maximum size of object areas	512 %M memory bits 8000 %MW memory words 512 %KW constant words 255 %TM timers 255 %C counters
Realtime clock	With
Clock drift	<= 30 s/month at 77 °F (25 °C)
Regulation loop	Adjustable PID regulator up to 14 simultaneous loops
Positioning functions	Position PTO 2 axe(s) pulse/direction mode (100 kHz) Position PTO 1 axe(s) CW/CCW mode (100 kHz)
Function available	PWM PLS Frequency generator
Counting input number	4 fast input (HSC mode) (counting frequency: 100 kHz), counting capacity: 32 bits
Control signal type	A/B Pulse/direction Single phase
Integrated connection type	USB port with connector mini B USB 2.0 Ethernet with connector RJ45 Non isolated serial link "serial 1" with connector RJ45 and interface RS232/RS485
Supply	Serial serial link supply at 5 V 200 mA
Transmission rate	1.2...115.2 kbit/s (115.2 kbit/s by default) for bus length of 15 m - communication protocol: RS485 1.2...115.2 kbit/s (115.2 kbit/s by default) for bus length of 9.84 ft (3 m) - communication protocol: RS232 480 Mbit/s - communication protocol: USB
Communication port protocol	USB port: USB protocol - SoMachine-Network Non isolated serial link: Modbus protocol master/slave - RTU/ASCII or SoMachine-Network : Ethernet protocol
Port Ethernet	10BASE-T/100BASE-TX 1 port with 328.08 ft (100 m) copper cable
Communication service	DHCP client Ethernet/IP adapter Modbus TCP server Modbus TCP client Modbus TCP slave device
Local signalling	1 LED red module error (ERR) 1 LED green PWR 1 LED green RUN 1 LED green SD card access (SD) 1 LED red BAT 1 LED per channel green I/O state 1 LED green SL Ethernet network activity green ACT Ethernet network link yellow Link (Link Status)
Electrical connection	Mini B USB 2.0 connector for a programming terminal Terminal block, 3 terminal(s) for connecting the 24 V DC power supply Connector, 4 terminal(s) for analogue inputs Removable screw terminal block for inputs Removable screw terminal block for outputs

Cable distance between devices	Shielded cable: 10 m for fast input Unshielded cable: 30 m for output Unshielded cable: 30 m for digital input Unshielded cable: 1 m for analog input Shielded cable: 3 m for fast output
Insulation	500 V AC between fast input and internal logic Non-insulated between inputs Non-insulated between analogue inputs 500 V AC between output and internal logic 500 V AC between input and internal logic Non-insulated between analogue input and internal logic
Marking	CE
Mounting support	Top hat type TH35-15 rail conforming to IEC 60715 Top hat type TH35-7.5 rail conforming to IEC 60715 Plate or panel with fixing kit
Height	3.54 in (90 mm)
Depth	2.76 in (70 mm)
Width	4.33 in (110 mm)
Product weight	0.87 lb(US) (0.395 kg)

Environment

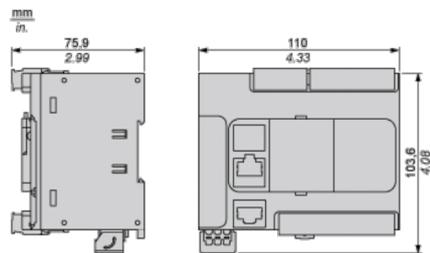
standards	EN/IEC 60664-1 EN/IEC 61131-2 EN/IEC 61010-2-201
product certifications	ABS CSA CULus LR IACS E10 RCM EAC DNV-GL
environmental characteristic	Ordinary and hazardous location
resistance to electrostatic discharge	4 kV on contact conforming to EN/IEC 61000-4-2 8 kV in air conforming to EN/IEC 61000-4-2
resistance to electromagnetic fields	9.14 V/yd (10 V/m) (80 MHz...1 GHz) conforming to EN/IEC 61000-4-3 2.74 V/yd (3 V/m) (1.4 GHz...2 GHz) conforming to EN/IEC 61000-4-3 1 V/m (2...2.7 GHz) conforming to EN/IEC 61000-4-3
resistance to magnetic fields	30 A/m 50/60 Hz conforming to EN/IEC 61000-4-8
resistance to fast transients	2 kV power lines conforming to EN/IEC 61000-4-4 2 kV relay output conforming to EN/IEC 61000-4-4 1 kV Ethernet line conforming to EN/IEC 61000-4-4 1 kV serial link conforming to EN/IEC 61000-4-4 1 kV I/O conforming to EN/IEC 61000-4-4
surge withstand	2 kV power lines (AC) in common mode conforming to EN/IEC 61000-4-5 2 kV relay output in common mode conforming to EN/IEC 61000-4-5 1 kV I/O in common mode conforming to EN/IEC 61000-4-5 1 kV shielded cable in common mode conforming to EN/IEC 61000-4-5 0.5 kV power lines (DC) in differential mode conforming to EN/IEC 61000-4-5 1 kV power lines (AC) in differential mode conforming to EN/IEC 61000-4-5 1 kV relay output in differential mode conforming to EN/IEC 61000-4-5 0.5 kV power lines (DC) in common mode conforming to EN/IEC 61000-4-5
resistance to conducted disturbances	10 Vrms (0.15...80 MHz) conforming to EN/IEC 61000-4-6 3 Vrms (0.1...80 MHz) conforming to Marine specification (LR, ABS, DNV, GL) 10 Vrms (spot frequency (2, 3, 4, 6.2, 8.2, 12.6, 16.5, 18.8, 22, 25 MHz)) conforming to Marine specification (LR, ABS, DNV, GL)
electromagnetic emission	Conducted emissions conforming to EN/IEC 55011 power lines (AC), 0.15...0.5 MHz: 79 dB μ V/m QP/66 dB μ V/m AV Conducted emissions conforming to EN/IEC 55011 power lines (AC), 0.5...300 MHz: 73 dB μ V/m QP/60 dB μ V/m AV Conducted emissions conforming to EN/IEC 55011 power lines, 10...150 kHz: 120...69 dB μ V/m QP Conducted emissions conforming to EN/IEC 55011 power lines, 1.5...30 MHz: 63 dB μ V/m QP Radiated emissions conforming to EN/IEC 55011 class A 10 m, 30...230 MHz: 40 dB μ V/m QP Conducted emissions conforming to EN/IEC 55011 power lines, 150...1500 kHz : 79...63 dB μ V/m QP Radiated emissions conforming to EN/IEC 55011 class A 10 m, 200...1000 MHz : 47 dB μ V/m QP

immunity to microbreaks	10 ms
ambient air temperature for operation	14...131 °F (-10...55 °C) horizontal installation -10...35 °C vertical installation
ambient air temperature for storage	-13...158 °F (-25...70 °C)
relative humidity	10...95 % without condensation in operation 10...95 % without condensation in storage
IP degree of protection	IP20 with protective cover in place
pollution degree	<= 2
operating altitude	0...6561.68 ft (0...2000 m)
storage altitude	0...9842.52 ft (0...3000 m)
vibration resistance	3.5 mm (vibration frequency: 5...8.4 Hz) on symmetrical rail 1 gn (vibration frequency: 8.4...150 Hz) on symmetrical rail 3.5 mm (vibration frequency: 5...8.4 Hz) on panel mounting 1 gn (vibration frequency: 8.4...150 Hz) on panel mounting
shock resistance	147 m/s ² (test wave duration:11 ms)

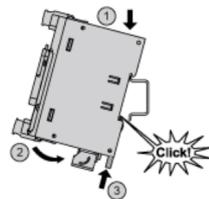
Offer Sustainability

Green Premium product	Green Premium product
Compliant - since 1415 - Schneider Electric declaration of conformity	Compliant - since 1415 - Schneider Electric declaration of conformity
Reference not containing SVHC above the threshold	Reference not containing SVHC above the threshold
Available	Available
Available	Available

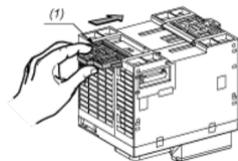
Dimensions



Mounting on a Rail

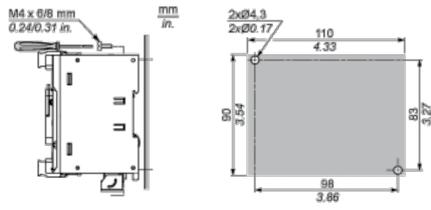


Direct Mounting on a Panel Surface



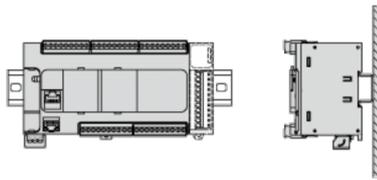
(1) Install a mounting strip

Mounting Hole Layout

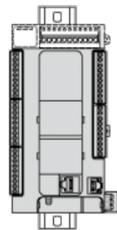


Mounting

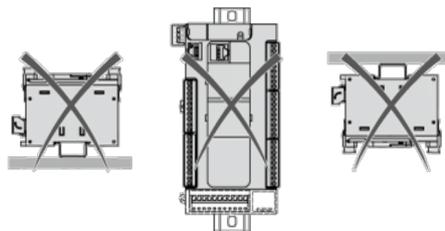
Correct Mounting Position



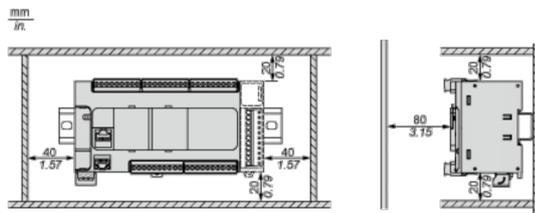
Acceptable Mounting Position



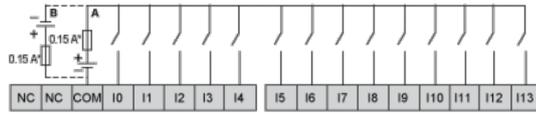
Incorrect Mounting Position



Clearance

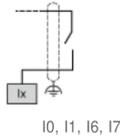


Digital Inputs

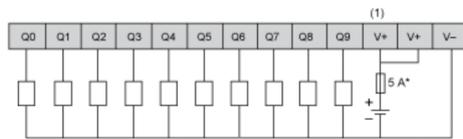


- (*) Type T fuse
- (A) Sink wiring (positive logic).
- (B) Source wiring (negative logic).

Connection of the Fast Inputs

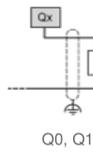


Transistor Outputs

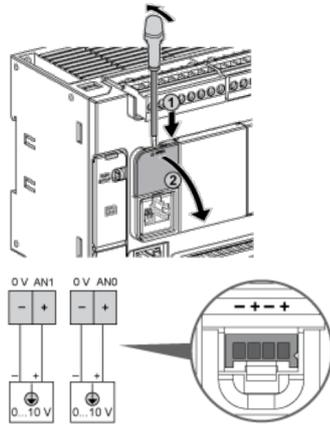


- (*) Type T fuse
- (1) The V+ terminals are connected internally.

Connection of the Fast Outputs



Analog Inputs



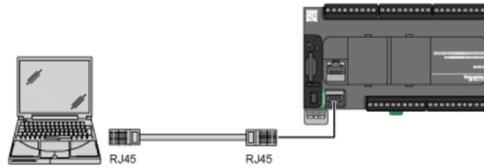
The (-) poles are connected internally.

Pin	Wire Color
0 V	Black
AN1	Red
0 V	Black
AN0	Red

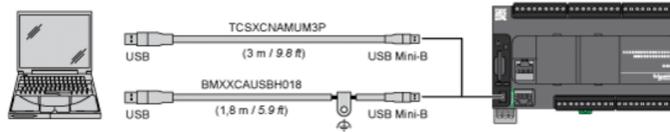
Ethernet Connection



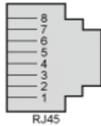
Pin N°	Signal
1	TD+
2	TD-
3	RD+
4	-
5	-
6	RD-
7	-
8	-



USB Mini-B Connection



SL1 Connection



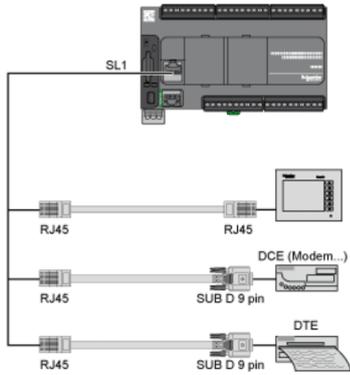
SL1

N °	RS 232	RS 485
1	RxD	N.C.
2	TxD	N.C.

3	RTS	N.C.
4	N.C.	D1
5	N.C.	D0
6	CTS	N.C.
7	N.C.*	5 Vdc
8	Common	Common

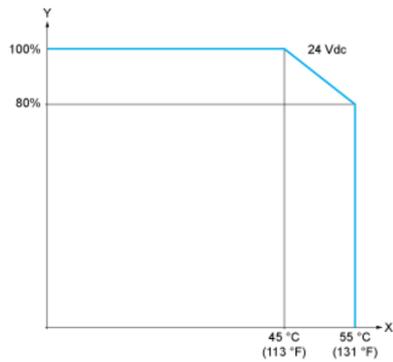
N.C.: not connected

* : 5 Vdc delivered by the controller. Do not connect.



Derating Curves

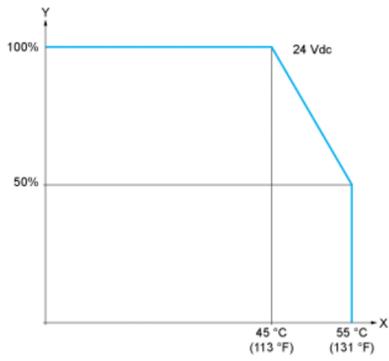
Embedded Digital Inputs (No Cartridge)



X : Ambient temperature

Y : Input simultaneous ON ratio

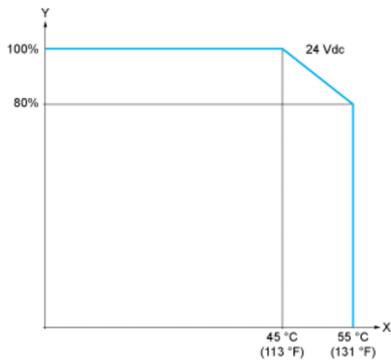
Embedded Digital Inputs (with Cartridge)



X : Ambient temperature
 Y : Input simultaneous ON ratio

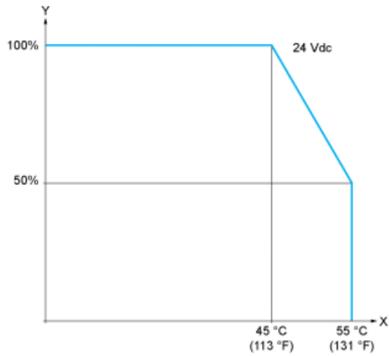
Derating Curves

Embedded Digital Outputs (No Cartridge)



X : Ambient temperature
 Y : Output simultaneous ON ratio

Embedded Digital Outputs (with Cartridge)



X : Ambient temperature
 Y : Output simultaneous ON ratio



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 15 / 02 / 2022

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES
Nombres – Apellidos: BRAYAN ALEXIS PILAMUNGA HURTADO EDUARDO XAVIER AMAGUAYO ARMIJO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
f. Analista de Biblioteca responsable:  Firmado electrónicamente por: ELIZABETH FERNANDA AREVALO MEDINA

