



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

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL
MONTAJE DE EMBOLO, VÁSTAGO Y TAPA DE ACTUADOR
NEUMÁTICO PARA UN SISTEMA DE MONTAJE DE CILINDROS
NEUMÁTICOS”.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: ALEXIS PAÚL MASPUD CASTRO

STALYN JOSÉ YANCHALUISA SÁNCHEZ

DIRECTOR: ING. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Alexis Paúl Maspud Castro & Stalyn José Yanchaluisa Sánchez

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

Nosotros, Alexis Paúl Maspud Castro y Stalyn José Yanchaluisa Sánchez, 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, 02 de abril de 2024



Alexis Paúl Maspud Castro
C.I.: 040164252-5



Stalyn José Yanchaluisa Sánchez
C.I.: 220026364-4

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: Proyecto Técnico, “**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL MONTAJE DE EMBOLO, VÁSTAGO Y TAPA DE ACTUADOR NEUMÁTICO PARA UN SISTEMA DE MONTAJE DE CILINDROS NEUMÁTICOS**”, realizado por los señores: **ALEXIS PAÚL MASPUD CASTRO** y **STALYN JOSÉ YANCHALUISA SÁNCHEZ**, 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. Ramiro Fernando Isa Jara PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-04-02
Ing. Marco Antonio Viteri Barrera DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-04-02
Ing. José Enrique Guerra Salazar ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-04-02

DEDICATORIA

Con amor quiero dedicar este trabajo de titulación a mi madre Alejandra Castro y a mi padre José Maspud ya que sin ellos no hubiera sido posible lograr este objetivo, agradecer porque siempre estuvieron presentes en todo mi proceso universitario, sin importar las caídas me brindaron su apoyo y cariño, lo que me ha fortalecido para nunca rendirme en momentos difíciles.

Alexis

Con un profundo cariño quiero dedicar este trabajo de titulación a mi padre José Yanchaluisa, quien estuvo a mi lado apoyándome durante todo mi proceso académico, por su comprensión y ayuda en momentos cruciales y sobre todo por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

Stalyn

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento al director y asesor de esta tesis, por su dedicación y orientación esenciales en el éxito de este trabajo. Reconozco a la Escuela Superior Politécnica por proporcionar un entorno académico enriquecedor durante estos años. Mi gratitud se extiende a familiares, amigos, profesores y personal administrativo por su contribución a mi formación. Este logro representa un capítulo significativo en mi vida académica, y agradezco a todos quienes han sido parte de esta travesía.

Alexis

Expreso mi sincero agradecimiento a todos aquellos que contribuyeron a la realización de este proyecto de integración curricular, agradeciendo su constante respaldo y aliento. Quiero destacar de manera especial por la orientación y los conocimientos compartidos por mis distinguidos profesores, así como el aporte de todos aquellos que, de diversas maneras, colaboraron en la concreción de este trabajo. Asimismo, deseo expresar mi gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de llevar a cabo esta labor.

Stalyn

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.1.1 <i>Problema general de investigación</i>.....	4
1.1.2 <i>Sistematización del problema</i>.....	4
1.2 Justificación.....	4
1.2.1 <i>Justificación teórica</i>.....	4
1.2.2 <i>Justificación Aplicativa</i>.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 <i>Objetivo general</i>.....	6
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>.....	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Módulos didácticos.....	7
2.2 Sistemas de montaje.....	8
2.3 Sistemas de control.....	9
2.3.1 <i>Control de lazo cerrado</i>.....	9
2.3.2 <i>Control de lazo abierto</i>.....	10
2.3.3 <i>Análisis comparativo de sistemas de control</i>.....	11

2.4	Protocolos de comunicación	11
2.4.1	<i>Análisis comparativo entre protocolos de comunicación</i>	13
2.5	Controlador lógico programable (PLC)	14
2.5.1	<i>Análisis comparativo entre marcas de PLC's</i>	15
2.6	Cilindros neumáticos	15
2.6.1	<i>Análisis comparativo de los cilindros neumáticos</i>	16
2.7	Sensores	17
2.7.1	<i>Análisis comparativo de sensores</i>	18
2.8	Motores DC	18
2.8.1	<i>Análisis comparativo de motores DC</i>	19
2.9	Controladores de motores a paso	20
2.9.1	<i>Análisis comparativo de controladores de motores paso a paso</i>	20
2.10	Banda transportadora	21

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1.	Requerimientos	22
3.1.1.	<i>Requerimientos del proceso</i>	24
3.2.	Concepción de la arquitectura del proceso	25
3.3.	Descripción de los componentes <i>hardware</i> del módulo	26
3.3.1.	<i>PLC Wecon Lx5S-1616MR</i>	26
3.3.2.	<i>Motor paso a paso 57HS56 con eje lineal y minimesa deslizante</i>	27
3.3.3.	<i>Motor paso a paso YUN DUAN CTM 28-0602-50</i>	28
3.3.4.	<i>Controlador de movimiento programable ST-PMCI</i>	29
3.3.5.	<i>Controlador TB6600</i>	30
3.3.6.	<i>Fuente de poder conmutada 24 V</i>	31
3.3.7.	<i>Sensor LJ6A3-1-PI</i>	32
3.3.8.	<i>Interfaz de comunicación DB15-D-M</i>	33
3.3.9.	<i>Interfaz de comunicación DB37-MG6</i>	34

3.3.10.	<i>Sensor magnético CHACS D-Z73</i>	35
3.3.11.	<i>Válvula SY5120-5LZD-01</i>	36
3.3.12.	<i>Breaker Camsco C60K-63</i>	37
3.3.13.	<i>Cilindro neumático CHCPC TN 20x40</i>	38
3.3.14.	<i>Pinza neumática MSH3</i>	39
3.3.15.	<i>Motorreductor 24V DC 27RPM</i>	40
3.3.16.	<i>Bloque de terminales de sensores 4-6 vías</i>	41
3.3.17.	<i>Botonera de control</i>	42
3.3.18.	<i>Cables de conexión de interfaces de comunicación</i>	43
3.3.19.	<i>Bornera de contacto</i>	44
3.3.20.	<i>Canaleta ranurada y carril DIN</i>	45
3.4.	Diseño eléctrico	45
3.4.1.	<i>Consumo eléctrico del módulo didáctico</i>	46
3.4.2.	<i>Plano de alimentación AC y DC del tablero de control</i>	47
3.4.3.	<i>Plano eléctrico de conexiones entradas y salidas del PLC hacia las interfaces de conexión DB</i>	48
3.4.4.	<i>Plano eléctrico de conexiones con elementos de campo</i>	49
3.4.5.	<i>Plano eléctrico de conexión de motores P2P</i>	50
3.5.	Esquema neumático	53
3.6.	Software de desarrollo para el módulo didáctico	54
3.7.	Diseño HMI	56
3.8.	Diseño estructural	57
3.8.1.	<i>Plano estructural banda transportadora</i>	58
3.8.2.	<i>Plano estructural soporte superior de elementos eléctricos y neumáticos</i>	58
3.8.3.	<i>Plano estructural Almacén</i>	60
3.8.4.	<i>Estructura para el tablero de control</i>	60
3.8.5.	<i>Pallet</i>	61
3.8.6.	<i>Mesa</i>	62
3.8.7.	<i>Estructura mecánica del módulo didáctico final</i>	63

3.9.	Módulo didáctico ensamblado final	64
-------------	--	-----------

CAPÍTULO IV

4.	VALIDACIÓN DEL PROYECTO	65
4.1.	Consideraciones generales para evaluar el proyecto	65
4.2.	Validación de normalidad por el método Shapiro-Wilk	66
4.3.	Validación de sensor inductivo	76
4.4.	Validación de sensor magnético	79
4.5.	Validación de montaje de componentes del cilindro neumático.....	81
4.6.	Pruebas de consumo eléctrico a plena carga	89
4.7.	Análisis comparativo del consumo eléctrico.....	90
4.8.	Costos de implementación del módulo didáctico	91
4.9.	Análisis comparativo del módulo implementado y el módulo SMC FMS 202	92

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
5.1.	Conclusiones.....	95
5.2.	Recomendaciones.....	96

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Ventajas y desventajas de los tipos de módulos didácticos.....	8
Tabla 2-2: Comparativa entre los diferentes tipos de sistemas de montaje en la automatización.	9
Tabla 2-3: Comparación de sistemas de control	11
Tabla 2-4: Comparación entre protocolos de comunicación.....	14
Tabla 2-5: Características de diferentes marcas de PLC's	15
Tabla 2-6: Características generales de los cilindros neumáticos.....	16
Tabla 2-7: Características de los sensores más comunes	18
Tabla 2-8: Características relevantes de los motores DC más comunes	19
Tabla 2-9: Características generales de los controladores más comunes de motores paso a paso	21
Tabla 2-10: Características de los tipos de bandas más comunes	21
Tabla 3-1: Especificaciones técnicas del PLC Wecon Lx5s-1616MR.	27
Tabla 3-2: Especificaciones técnicas de motor paso a paso 57HS56 con eje lineal y mínima deslizante.....	28
Tabla 3-3: Especificaciones técnicas del motor CTM 28-0602-50 (Nema 11).....	29
Tabla 3-4: Especificaciones técnicas del controlador de movimiento programable ST-PMC1..	30
Tabla 3-5: Especificación técnica del controlador TB6600.....	31
Tabla 3-6: Especificaciones técnicas de la fuente de poder conmutada 24V.....	32
Tabla 3-7: Especificaciones técnicas del sensor LJ6A3-1-P1.....	33
Tabla 3-8: Especificaciones técnicas del interfaz de comunicación DB15-D-M.....	34
Tabla 3-9: Especificaciones técnicas del interfaz de comunicación DB37-MG6.....	35
Tabla 3-10: Especificaciones técnicas del sensor magnético CHACS D-Z73.....	36
Tabla 3-11: Especificaciones técnicas de la válvula SY5120-5LZD-01.....	37
Tabla 3-12: Especificaciones técnicas del Breaker Camsco C60K-63	38
Tabla 3-13: Especificaciones técnicas del cilindro CHCPC TN20x40.....	39
Tabla 3-14: Especificaciones técnicas de la pinza MSH3.....	40
Tabla 3-15: Principales especificaciones técnicas del motorreductor 24VDC 27RPM.....	41
Tabla 3-16: Especificaciones técnicas principales del bloque de terminales para sensores 4-6.	42
Tabla 3-17: Características principales de elementos de la botonera de control.....	43
Tabla 3-18: Consumo de los elementos eléctricos del módulo didáctico	46
Tabla 3-19: Conexiones de alimentación.....	47

Tabla 3-20: Conexiones de entradas y salidas de PLC hacia interfaces DB37-MG6 y DB15-D-M..	49
Tabla 3-21: Conexiones de elementos de campo con interfaces de conexión DB37 y DB15 ...	50
Tabla 3-22: Descripción del diagrama de conexiones para el motor P2P #1.....	51
Tabla 3-23: Descripción del diagrama de conexiones para el motor P2P #2.....	52
Tabla 3-24: Parámetros del esquema neumático presentado.	54
Tabla 3-25: Material estructural para la banda transportadora	58
Tabla 3-26: Materiales para la estructura del soporte superior	59
Tabla 3-27: Materiales para la estructura del almacén.....	60
Tabla 3-28: Componentes estructurales del tablero de control.....	61
Tabla 3-29: Componentes estructurales de la mesa	62
Tabla 4-1: Tiempos obtenidos de las dos filas existentes de la mesa para etapa de montaje.....	67
Tabla 4-2: Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para tiempos de etapa de montaje	68
Tabla 4-3: Tiempos obtenidos a través del transporte del pallet del inicio al final de la banda..	69
Tabla 4-4: Prueba de normalización de Shapiro-Wilk para tiempos de etapa de transporte....	70
Tabla 4-5: Tiempos obtenidos por cada columna de la mesa deslizante del almacén.	72
Tabla 4-6: Prueba de normalización de Shapiro-Wilk para tiempos de almacén	73
Tabla 4-7: Tiempos totales obtenidos del ensamblaje total considerando cada fila del almacén	74
Tabla 4-8: Prueba de normalización de Shapiro-Wilk para tiempos de ensamblaje total.....	75
Tabla 4-9: Datos obtenidos a diferentes distancias para validación del sensor inductivo.	77
Tabla 4-10: Valores estadísticos de la activación de sensor inductivo	78
Tabla 4-11: Resultados de T-Student para lecturas de sensor inductivo.....	79
Tabla 4-12: Datos obtenidos de lectura del sensor magnético D-Z73 para su validación	80
Tabla 4-13: Valores estadísticos de la activación del sensor magnético.....	81
Tabla 4-14: Datos obtenidos con diez muestras de distancia y montaje.....	82
Tabla 4-15: Prueba de normalización para validar distancias de ensamblaje	83
Tabla 4-16: Datos obtenidos con veinte muestras de distancia y ensamblaje.....	83
Tabla 4-17: Prueba de normalización para validar distancias de ensamblaje a 20 muestras	84
Tabla 4-18: Datos obtenidos con treinta muestras de distancias y ensamblaje.....	85
Tabla 4-19: Prueba de normalización para validar distancias de ensamblaje a 30 muestras	86
Tabla 4-20: Datos obtenidos con el <i>pallet</i> mejorado	87
Tabla 4-21: Prueba de normalización para validar distancias de ensamblaje a 30 muestras	88
Tabla 4-22: Dispositivos conectados a 120 V AC.	89
Tabla 4-23: Mediciones de voltaje, corriente y el cálculo de la potencia útil.....	90
Tabla 4-24: Comparativa de corrientes, potencia de un módulo comercial y el módulo didáctico implementado.....	91

Tabla 4-25: Costo de componentes para el módulo didáctico	92
Tabla 4-26: Comparativa entre el módulo implementado y el módulo comercial FMS 202 SMC	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Diagrama de bloques control de lazo cerrado.....	10
Ilustración 2-2:	Diagrama de bloques control lazo abierto	10
Ilustración 2-3:	Trama encapsulada Modbus en TCP/IP	12
Ilustración 2-4:	Arquitectura del protocolo de comunicación Profibus	13
Ilustración 2-5:	Arquitectura del protocolo de comunicación Profinet	13
Ilustración 3-1:	Concepción de la arquitectura	26
Ilustración 3-2:	PLC Wecon Lx5s-1616MR	27
Ilustración 3-3:	Motor paso a paso 57HS56 con eje lineal y minimesa	28
Ilustración 3-4:	Motor paso a paso YUN DUAN 28-0602-50	29
Ilustración 3-5:	Controlador ST-PMC1.....	30
Ilustración 3-6:	Controlador TB6600.....	31
Ilustración 3-7:	Fuente de poder conmutada 24V	32
Ilustración 3-8:	Sensor LJ6A3-1-P1	33
Ilustración 3-9:	Interfaz de comunicación.....	34
Ilustración 3-10:	Interfaz de comunicación DB37-MG6.....	35
Ilustración 3-11:	Sensor magnético CHACS D-Z73	36
Ilustración 3-12:	Válvula SY5120-5LZD-01	37
Ilustración 3-13:	Breaker Camsco C60K-63	38
Ilustración 3-14:	Cilindro neumático CHCPC TN 20x40	39
Ilustración 3-15:	Pinza MHSH3	40
Ilustración 3-16:	Motorreductor 24VDC 27RPM	41
Ilustración 3-17:	Bloque de terminales	42
Ilustración 3-18:	Botonera de control	43
Ilustración 3-19:	Cable DB-15	44
Ilustración 3-20:	Cable DB-37	44
Ilustración 3-21:	Bornera de contacto	44
Ilustración 3-22:	Canaleta ranurada 40x40 mm	45
Ilustración 3-23:	Carril DIN	45
Ilustración 3-24:	Plano eléctrico de alimentación AC y DC	47
Ilustración 3-25:	Conexión de entradas y salidas hacia interfaces DB.....	48
Ilustración 3-26:	Plano de conexión elemento de campo	49
Ilustración 3-27:	Diagrama de conexión para motor P2P #1	51
Ilustración 3-28:	Diagrama de conexiones para el motor P2P #2	52

Ilustración 3-29: Esquema neumático para el sistema de montaje	53
Ilustración 3-30: Diagrama de flujo proceso de montaje de cilindros neumáticos	55
Ilustración 3-31: Fragmento de programación del módulo didáctico	56
Ilustración 3-32: Interfaz gráfica de monitoreo (HMI)	56
Ilustración 3-33: Sub-pantalla de conteo de cilindros	57
Ilustración 3-34: Pantalla de emergencia	57
Ilustración 3-35: Plano estructural Banda transportador	58
Ilustración 3-36: Plano estructural soporte superior	59
Ilustración 3-37: Plano estructural almacén de componentes neumáticos	60
Ilustración 3-38: Plano estructural tablero de control	61
Ilustración 3-39: Plano estructural del <i>pallet</i>	62
Ilustración 3-40: Planos estructurales mesa	63
Ilustración 3-41: Diseño 3D del módulo didáctico.....	63
Ilustración 3-42: Vista isométrica y frontal del módulo didáctico implementado	64
Ilustración 4-1: Evidencia de una de las pruebas realizadas para etapa de montaje	66
Ilustración 4-2: Evidencia de una de las pruebas realizadas para etapa de transporte	69
Ilustración 4-3: Evidencia de una de las pruebas realizadas para la mesa deslizante del almacén.	71
Ilustración 4-4: Evidencia de validación de una de las pruebas para el ensamblaje total	74
Ilustración 4-5: Evidencia de la validación del sensor inductivo	76
Ilustración 4-6: Evidencia de validación de sensor magnético	80
Ilustración 4-7: Muestra de medición de paro en la posición de montaje	82
Ilustración 4-8: <i>Pallet</i> con tela esmeril	87
Ilustración 4-9: Evidencia de la medición.....	89
Ilustración 4-10: Medición de corriente AC del módulo IPC 201	91
Ilustración 4-11: Módulo SMC FMS 202	93

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PLC WECON LX5S-1616MR

ANEXO B: DATASHEET DE MOTOR PASO A PASO 57HS56 CON EJE LINEAL

ANEXO C: DATASHEET DE MOTOR YUN DUAN CTM 28-0602-50 (NEMA 11)

ANEXO D: DATASHEET DE CONTROLADOR ST-PMC1

ANEXO E: DATASHEET DE CONTROLADOR TB6600

ANEXO F: SENSOR LJ6A3-1-P1

ANEXO G: DATASHEET DE SENSOR MAGNETICO D-Z73

ANEXO H: MOTORREDUCTOR 24V DC 27 RPM

ANEXO I: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

ANEXO J: PROGRAMACIÓN *LADDER* DEL MODULO DICATICO

ANEXO K: PLANOS ESTRUCTURALES

RESUMEN

Investigaciones previas se han centrado en desarrollar módulos didácticos y sistemas automatizados para mejorar el ensamblaje en neumática y automatización industrial, resaltando la importancia de identificar los dispositivos de control y operación necesarios para su implementación. Sin embargo, en la Facultad de Informática y Electrónica no existían módulos didácticos de tipo industrial; por lo tanto, el proyecto tuvo como objetivo implementar un módulo didáctico para la manipulación y colocación de un cuerpo de actuador neumático y su tapa frontal para el sistema de montaje de cilindros neumáticos. La metodología integró métodos cualitativos y cuantitativos con fines educativos. El proceso se dividió en seis etapas donde la primera es el panel de control encargado de gobernar todo el funcionamiento de proceso; la segunda es el transporte en el cual se ha integrado una banda que permite el movimiento de los cilindros a ensamblar de inicio a fin; la tercera es el almacén formado por una mesa deslizante accionado por un motor donde se ubican los componentes a ensamblar; la cuarta hace referencia al montaje el cual integra dos actuadores neumáticos para la sujeción y un motor para el desplazamiento lineal; la quinta se encuentra la botonera la cual permite tener el mando del módulo, por último tenemos una interfaz gráfica integrada en un computador que indica el estado de los diferentes componentes del módulo. Para validar el módulo se realizaron pruebas de normalidad en tiempos de funcionamiento, error absoluto, relativo para validación de sensores, y el coeficiente de variación para el ensamblaje correcto de cilindros neumáticos. Se obtuvieron resultados superiores a 0.05 de significancia que representa una distribución normal, con errores absolutos y relativos de 0%, 6.67% que están en el rango de aceptables. Como conclusión el módulo cumplió con todos los requerimientos planteados.

Palabras clave: <MODULO DIDÁCTICO> <SISTEMA DE MONTAJE> <NEUMÁTICA> <CILINDRO NEUMÁTICO> <AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL>.

0385-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

Previous research has focused on developing didactic modules and automated systems to enhance assembly in pneumatics and industrial automation, highlighting the importance of identifying the necessary control and operation devices for their implementation. However, in the Faculty of Computer Science and Electronics, no industrial-type didactic modules were available; therefore, the project aimed to implement a didactic module for manipulating and placing a pneumatic actuator body and its front cover for the pneumatic cylinder mounting system. The methodology integrated qualitative and quantitative methods for educational purposes. The process was divided into six stages; the first one is the control panel responsible for governing the entire process operation; The second stage involves transportation, where a conveyor belt has been integrated to allow the movement of the cylinders to be assembled from beginning to ending; the third is the storage formed by a sliding table powered by a motor where the components to be assembled are located; the fourth stage refers to assembly, which integrates two pneumatic actuators for gripping and a motor for linear movement; In the fifth stage, there is the control panel, which allows control of the module. Finally, an integrated graphical interface on a computer indicates the status of the different components of the module. To validate the module, normality tests were conducted on operation times, absolute and relative errors for sensor validation, and the coefficient of variation for the correct assembly of pneumatic cylinders. Results higher than 0.05 significance were obtained, representing a normal distribution, with absolute and relative errors of 0% and 6.67%, which fall within the acceptable range. In conclusion, the module met all the requirements outlined.

Keywords: <DIDACTIC MODULE> <ASSEMBLY SYSTEM> <PNEUMATICS>
<PNEUMATIC CYLINDER> <INDUSTRIAL AUTOMATION>.

0385-DBRA-UPT-2024



Lenin Iván Lara Olivo

0602546103

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la automatización, la evolución de los módulos didácticos para el montaje de cilindros neumáticos ha sido un aspecto fundamental en la formación técnica y académica. A medida que avanza la tecnología y se desarrollan nuevos métodos y técnicas, estos módulos han experimentado importantes cambios y mejoras como incorporación de tecnologías avanzadas, como la realidad aumentada y la simulación por ordenador. A pesar de los avances en la tecnología y los recursos disponibles en las instituciones de Educación Superior, es común encontrar carencias en la oferta de módulos didácticos que aborden de manera integral el proceso de montaje. Específicamente, la falta de un módulo enfocado en el montaje de diferentes componentes, como cilindros neumáticos, representa una limitación significativa en la formación de los estudiantes en el campo de la automatización (Ruiz Gamboa y others 2020). En consecuencia, a esto se presenta el siguiente proyecto enfocado en el aprendizaje de la automatización, brindando a los estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo la oportunidad de adquirir experiencia práctica en situaciones reales de montaje.

El proyecto en cuestión se enfoca en la “Implementación de un módulo didáctico para el montaje de embolo, vástago y tapa de actuador neumático para un sistema de montaje de cilindros neumáticos” en el Laboratorio de Automatización Industrial de la Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, cuyo objetivo principal es implementar un módulo didáctico para la manipulación y colocación de un cuerpo de actuador neumático y su tapa frontal para el sistema de montaje de cilindros neumáticos, que será parte de una línea de producción a partir de la alimentación de cuerpos, ajuste, verificación y su clasificación. A través de este módulo, se busca proporcionar a los estudiantes una experiencia práctica en un entorno controlado y seguro, donde puedan aplicar los conocimientos teóricos adquiridos y desarrollar habilidades técnicas fundamentales para su futura carrera profesional.

Este trabajo se estructura en cuatro capítulos, cada uno dedicada elementos específicos del proyecto técnico. El primer capítulo aborda el diagnóstico del problema, el segundo se realiza una revisión bibliográfica de los requisitos del sistema implementado en el marco teórico. En el tercer capítulo, se describe el marco metodológico, el cual incluye un análisis exhaustivo de los requisitos técnicos para el desarrollo del sistema automatizado del módulo didáctico para el ensamblaje de embolo, vástago y tapa de actuador neumático. Esto abarca la concepción de la arquitectura, descripción de los elementos, diagrama electrónico, programación y diseño estructural. Finalmente, el cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos del módulo didáctico en cuestión.

CAPÍTULO I

En esta sección, se trata la problemática de la presente investigación, examinando diversos factores que respaldan la necesidad de implementar un módulo didáctico. Además, se formulan los objetivos que deben alcanzarse al concluir la investigación junto con la implementación del módulo didáctico.

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

Mediante diferentes investigaciones, se realizó la búsqueda información sobre módulo didácticos para el montaje de embolo, vástago y tapa. Sin embargo, se observó que este tema en particular carece de investigaciones específicas. No obstante, se han realizado investigaciones relacionadas con módulos didácticos enfocados en la neumática y la automatización industrial. De las cuales se menciona que: En Colombia, en el año de 2019, se llevó a cabo el diseño y la fabricación de un módulo didáctico destinado a la práctica de sistemas neumáticos con el propósito de identificar los dispositivos de control y operación necesarios para mejorar el rendimiento del nuevo banco didáctico neumático (Chavarriaga López et al., 2018).

El módulo didáctico tiene una estructura de aluminio resistente para colocar accesorios como válvulas, cilindros neumáticos, válvulas finales de carrera, entre otros, para que estudiantes y tutores adquieran conocimientos teóricos y habilidades prácticas en este campo de estudio. Sin embargo, se identificó que el principal inconveniente de este proyecto radica en los costos elevados asociados con la actualización del equipo, ya que se utilizaron componentes de marcas reconocidas. Además, es importante destacar que este módulo se enfoca en la presentación de componentes ya ensamblados, como el cilindro neumático, en lugar de brindar instrucción específica sobre el proceso de ensamblaje en sí (Chavarriaga López et al., 2018).

En España 2019, se llevó a cabo el desarrollo de un sistema automatizado con el propósito de facilitar el ensamblaje de dos componentes de un motor. Este sistema utiliza dos autómatas para llevar a cabo la tarea de ensamblaje. El primer autómata se encarga de recoger las piezas de la cinta transportadora y colocarlas en las plataformas correspondientes para el ensamblaje. Una vez que las dos piezas están en su lugar, se encuentran listas para ser unidas mediante una tercera pieza. A continuación, el segundo autómata toma la tercera pieza de un plato giratorio y realiza el ensamblaje final. Sin embargo, estas particularidades del proceso de ensamblaje implican un coste considerable debido al empleo de los autómatas, también conocidos como brazos robóticos.

A pesar de ello, estos métodos resultan altamente adecuados para su implementación en entornos industriales (Villalba Duarte, 2019).

En Ecuador algunas instituciones de educación superior cuentan con investigaciones similares. En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se diseñó y se realizó la construcción de un módulo de automatización del proceso de ensamblaje usando ventosa neumática, controlado con PLC y pantalla táctil, se enfoca en el desarrollo de un módulo didáctico para la automatización del proceso de ensamblaje utilizando una ventosa neumática. Este módulo está controlado por un PLC (Controlador Lógico Programable) y una pantalla táctil, lo que permite una interfaz intuitiva y fácil de usar. El objetivo principal de este módulo es proporcionar a los estudiantes una herramienta práctica para adquirir conocimientos y habilidades en el campo de la automatización industrial. Sin embargo, el principal inconveniente del desarrollo de este proyecto es la implementación del ensamblaje de una ventosa neumática, la cual ha demostrado ser eficaz para manipular cargas de peso ligero. Sin embargo, su eficiencia se ve comprometida al enfrentarse a cargas de peso considerable. Este inconveniente plantea la necesidad de explorar alternativas en el diseño y funcionamiento del módulo, con el objetivo de garantizar su efectividad y rendimiento incluso en aplicaciones que involucren cargas más pesadas (Cayancela Valverde & Colcha Gagnay, 2020).

1.1 Planteamiento del problema

La Facultad de Informática y Electrónica se estableció en el año de 1999 en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), dentro de esta se encuentran diversos programas académicos, incluyendo la carrera de Ingeniería en Electrónica y Automatización, la cual fue implementada en marzo de 2000 como parte integral de la oferta académica. La facultad cuenta con una amplia gama de laboratorios especializados en áreas como el control de procesos, máquinas eléctricas, robótica, electrónica, industria 4.0 y automatización, entre otras. Estos laboratorios están diseñados para cumplir funciones específicas en el ámbito de la producción. A través de estas instalaciones, los estudiantes tienen la oportunidad de comprender el funcionamiento de los procesos automatizados, lo que contribuye a mejorar la eficiencia en la industria.

Los módulos didácticos utilizados en el campo de la automatización brindan a los estudiantes la oportunidad de desarrollar habilidades técnicas mediante la simulación y el análisis de situaciones reales en un entorno práctico y controlado. Estos módulos permiten a los estudiantes comprender y aplicar conceptos teóricos de manera práctica, lo que facilita la adquisición de conocimientos y

el fortalecimiento de habilidades en el ámbito de la automatización (Guailacela Mesías & Pérez Maldonado, 2021).

A pesar de que la Facultad de Informática y Electrónica cuenta con varios módulos didácticos, la ausencia de módulos de montaje de cilindros neumáticos impide que los estudiantes experimenten y practiquen el cómo se realiza los procesos de ensamblaje de los cilindros neumáticos. Por esta razón, es fundamental que se adopten proyectos sobre el ensamblaje de cilindros neumáticos para que los estudiantes adquieran habilidades prácticas relevantes, comprendan los principios de funcionamiento de estos dispositivos y estén preparados para enfrentar los desafíos del mundo laboral en el campo de la automatización industrial.

1.1.1 Problema general de investigación

¿Cómo implementar un módulo didáctico para el montaje de embolo, vástago y tapa de actuador neumático para un sistema de montaje de cilindros neumáticos?

1.1.2 Sistematización del problema

¿Cuáles son los estudios y parámetros para el desarrollo del montaje de un cilindro neumático?

¿Qué se requiere para implementar un módulo didáctico para el proceso de montaje de partes de un cilindro neumático?

¿Como diseñar e implementar el sistema automatizado para la colocación de cuerpos y tapa frontal de actuadores neumáticos?

¿Cómo se puede evaluar el módulo didáctico para el montaje de embolo, vástago y tapa de actuador neumático para un sistema de montaje de cilindros neumáticos?

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación teórica

El presente proyecto de titulación tiene como finalidad el desarrollo de un módulo didáctico que engloba un proceso funcional y aplicativo de producción en línea mediante la automatización del montaje de cilindros neumáticos. La implementación didáctica de dicho módulo no solo puede

aportar beneficios significativos para la educación y el entrenamiento, sino que también contribuir al desarrollo de habilidades técnicas, fomentar el aprendizaje activo y mejorar la comprensión y retención de conocimientos.

La implementación de un módulo didáctico de automatización en el ámbito de la electrónica y la automatización radica en la necesidad imperante de proporcionar a los estudiantes los conocimientos y habilidades esenciales para comprender, diseñar e implementar sistemas automatizados. Estos módulos didácticos permiten a los estudiantes adquirir experiencia práctica en la programación y el control de sistemas automatizados, aspectos cruciales para su formación en ingeniería electrónica y campos relacionados. Además, la actualización continua de los programas de estudio en instituciones de educación superior, como universidades, resulta fundamental para mantenerse alineados con las tendencias tecnológicas y las exigencias del sector industrial, lo que respalda plenamente la implementación de estos módulos didácticos (García & Quinto, 2016).

El laboratorio de automatización industrial de la Facultad de Informática y Electrónica ha implementado diversos módulos didácticos para llevar a cabo prácticas de programación en distintos prototipos de procesos industriales a lo largo de varios años. Esto ha permitido una mayor inmersión de los estudiantes en procesos reales para su futura vida profesional. Por lo tanto, se ha decidido ampliar aún más el alcance en el ámbito de la automatización industrial, incorporando un nuevo proceso. Gracias a esto se proporcionará una variedad de prácticas aplicativas que mejoran la formación de estudiantes de la carrera de automatización.

1.2.2 Justificación Aplicativa

Este módulo didáctico que será implementado debe cumplir con todos los requerimientos que sean planteados. Su funcionamiento se basa en un tablero de control que envíe y reciba señales digitales por medio de cables hacia elementos neumáticos y eléctricos posibilitando así el transporte y la colocación del embolo, vástago, y tapa dentro de la camisa de un cilindro neumático. La manipulación y el movimiento de los elementos a montar, se realizará mediante pinzas neumáticas, los elementos a ser montados estarán almacenados en una mesa rectangular accesible al operador permitiendo que esta sea alimentada de manera manual cuando se requiera. El sistema de montaje será automático para lo cual se dispone de sensores para el funcionamiento autónomo del módulo teniendo en cuenta que, si se producen fallas, a través de una botonera el usuario tenga la supervisión del proceso, además al ser una parte de un proceso de fabricación de cilindros neumáticos este dispone de una banda transportadora que conecte a este proceso con los siguientes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Implementar un módulo didáctico para la manipulación y colocación de un cuerpo de actuador neumático y su tapa frontal para el sistema de montaje de cilindros neumáticos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el estado del arte de sistemas automatizados para la colocación de cuerpos y tapa frontal de actuadores neumáticos.
- Especificar los requerimientos para el desarrollo de un sistema automatizado para la colocación de cuerpos y tapa frontal de actuadores neumáticos.
- Diseñar e implementar el sistema automatizado para la colocación de cuerpos y tapa frontal de actuadores neumáticos en función a los requerimientos.
- Validar si el sistema automatizado para la colocación de cuerpos y tapa frontal de actuadores neumáticos cumple con los requerimientos establecidos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se realiza el análisis y la investigación de los conceptos más significativos correspondientes a módulos didácticos incluyendo el estudio de los diferentes elementos que son necesarios para la implementación de un proceso automatizado como: controladores, sensores, actuadores neumáticos, motores entre otros.

2.1 Módulos didácticos

Se refiere a un conjunto de materiales organizados y diseñados para la instrucción en automatización que tiene como finalidad la transmisión de conocimientos y la adquisición de nuevas competencias en el ámbito de la automatización industrial. En su configuración convencional, estos módulos incorporan dispositivos y sistemas de control que posibilitan la simulación de operaciones en un entorno real (Chimbo Cevallos & Shigui Carasayo, 2021).

Módulo didáctico IPC-203 - Estación de paletizado SMC. -Es un instrumento de aprendizaje comercial de la marca SMC para sistemas de electrónica y procesos industriales. Esta estación aborda muchos aspectos dentro de ellos, fundamentos de la programación de PLC y sensores. Además, hace introducción sobre el control y transporte del material asociado automatizado para un *pallet* de 25 posiciones, mediante un sistema de tres coordenadas mediante dos ejes de accionamiento eléctrico y un eje neumático (SMC, 2022).

Módulo didáctico de transporte y clasificación de objetos. – En el Instituto Nacional de Celaya, México, se llevó a cabo una investigación y aplicación de un módulo cuya función principal es el transporte y clasificación de objetos mediante una banda transportadora modular, haciendo uso de recursos de automatización industrial como un controlador lógico programable (PLC), sensores digitales, motores con sus respectivos controladores. El propósito de este proyecto fue consolidar los conceptos teóricos a través de su implementación práctica (Rivera et al., 2018).

En la *Tabla 2-1*, se establecen las ventajas y desventajas de los tipos de módulos didácticos estudiados.

Tabla 2-1: Ventajas y desventajas de los tipos de módulos didácticos.

Tipo	Ventajas	Desventajas
Módulo didáctico de transporte y clasificación de objetos	Personalización y adaptabilidad media de acuerdo con las necesidades. Costo medio de implementación.	Necesita mayor tiempo de implementación. Sistema de seguridad baja.
Módulo didáctico IPC-203 - Estación de paletizado SMC	Tiempo de implementación corto. Sistema de seguridad media.	Carece de adaptación y personalización. Costo elevado de implementación.

Fuente: Henry Morlaye, 2022.

Realizado por: Maspu A, Yanchaluisa S, 2023.

De la tabla se observa que los dos módulos carecen de adaptabilidad a la realidad, tienen un costo medio-alto. Además, estos no realizan el montaje de cilindros neumáticos, por ello se ve la necesidad de diseñar un módulo didáctico que se adapte a la realidad, reduzca sus costos y realice el montaje de cilindros neumáticos. Para ello se tiene que estudiar los tipos de sistemas de montaje más usados, protocolos de comunicación, etc.

2.2 Sistemas de montaje

Son referidas a las estructuras y configuraciones de ensamblaje que forman parte de un procedimiento de fabricación y que típicamente se emplean para componentes mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos en sistemas automatizados. Estas son esenciales para el funcionamiento eficiente de las líneas de producción (Agudelo et al., 2020).

Montaje lineal. – Denominado también como sistema secuencial, los componentes se organizan de manera secuencial a lo largo de la línea de producción. En cada módulo de trabajo, se lleva a cabo una tarea específica dentro del proceso de ensamblaje. Una vez completada dicha tarea, el producto se transfiere de una estación a otra a lo largo del sistema. Este enfoque garantiza una disposición ordenada y progresiva de las etapas de producción, permitiendo una ejecución eficiente de las operaciones de ensamblaje (Xuan, 2020).

Montaje en lotes. Este implica la fabricación de un determinado valor de productos antes de pasar a la siguiente modulo. Esto puede llegar a ser beneficioso para la producción de lotes personalizados o lugares de producción variables, pero su costo es variable en consideración a su elemento terminal, ya que, está directamente vinculada con el número de lotes que pueda ser establecido para ensamblar (Xuan, 2020).

Montaje robótico. – Implica la utilización de robots industriales que han sido programados para llevar a cabo procesos específicos de ensamblaje. Estos robots suelen destacarse por su precisión y eficiencia en la manipulación de los componentes a ensamblar, Sin embargo, la adquisición de estos robots conlleva costos significativos(Alonso, 2022).

En la *Tabla 2-2* se realiza una comparativa entre los tipos de montaje donde se obtiene que el sistema de montaje lineal es el adecuado debido a las características por su trabajo independiente, su fácil implementación a comparación de los otros tipos de montaje, necesidad de un espacio reducido, baja tendencia a cometer errores y su producción continua.

Tabla 2-2: Comparativa entre los diferentes tipos de sistemas de montaje en la automatización.

Características	Montaje lineal	Montaje por lotes	Montaje robótico
Tipo de trabajo	Independiente	Dependiente	Dependiente
Nivel de implementación	Fácil	Media	Difícil
Espacio de trabajo	Reducido	Medio / Reducido	Alto
Tendencia a errores	Baja	Media	Media
Producción	Continua	Secuencial	Secuencial

Fuente: Xuan, 2020.

Realizado por: Maspué A, Yanchaluisa S, 2023.

2.3 Sistemas de control

Es un conjunto de elementos, que incluyen dispositivos de supervisión y software para la gestión y automatización de operaciones en la medida de lo posible. Estos sistemas equilibran los diversos componentes esenciales para el funcionamiento eficiente y coordinado de un entorno industrial, asegurando su operatividad. Los sistemas de control industrial pueden asumir el control total o formar parte de un enfoque híbrido que integre la interacción humana. Además, se presentan opciones como bucle abierto, bucle cerrado y control manual (Moreno Arvelo et al., 2019).

2.3.1 Control de lazo cerrado

En este sistema, el controlador recibe la señal de error de actuación, que representa la diferencia entre la señal de entrada y la señal de retroalimentación siendo la propia señal de salida una función de sus derivadas y/o integrales, así como se observa en la *Ilustración 2-1*. El objetivo es disminuir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado. La expresión control en lazo cerrado siempre implica la aplicación de una acción con una retroalimentación para minimizar el error del sistema (Ogata, 2010).

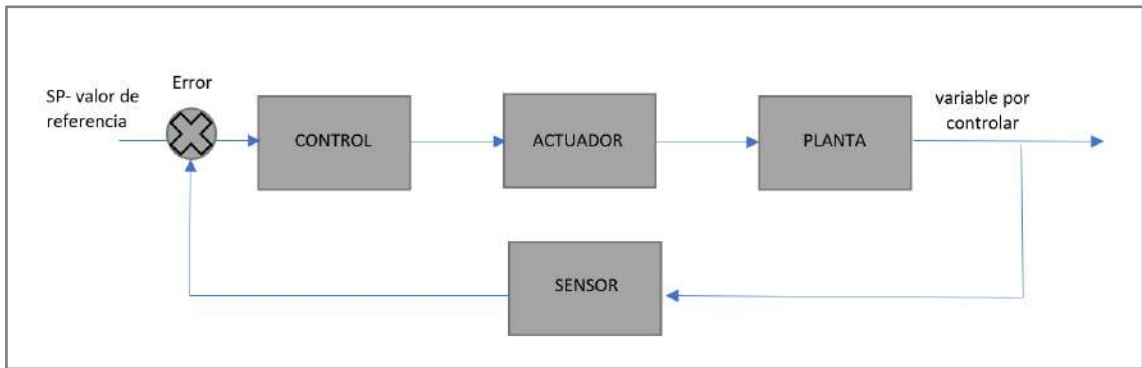


Ilustración 2-1: Diagrama de bloques control de lazo cerrado

Fuente: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

2.3.2 Control de lazo abierto

Los sistemas que no afectan la acción de control según la salida se conocen como sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, no se realiza la medición ni la retroalimentación de la salida para compararla con la entrada. Un ejemplo concreto de esto es una lavadora, donde el remojo, lavado y centrifugado operan según una programación de tiempo, sin medir la señal de salida que representa la limpieza de la ropa. Por lo tanto, cada entrada de referencia está asociada con una condición de operación fija, y la precisión del sistema depende de la calibración. Frente a perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no logra cumplir con la tarea deseada. En la práctica, este tipo de control se utiliza únicamente cuando se conoce la relación entre la entrada y la salida, y no hay perturbaciones internas ni externas (Ogata 2010).

En la *Ilustración 2-2* se muestra el diagrama de bloques control lazo abierto.

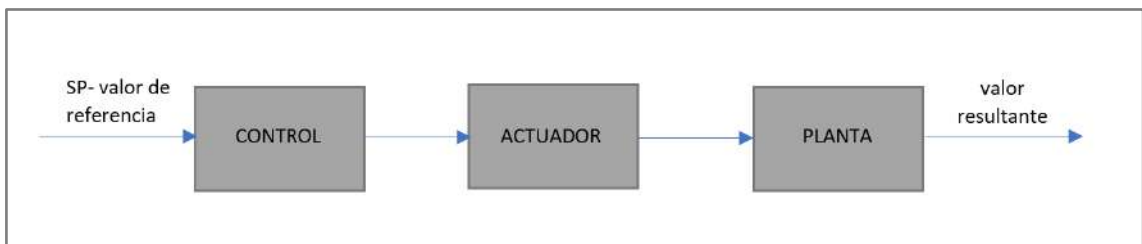


Ilustración 2-2: Diagrama de bloques control lazo abierto

Fuente: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

2.3.3 Análisis comparativo de sistemas de control

En la *Tabla 2-3* se realiza una comparación entre dos sistemas de control, y se obtiene que el control de lazo abierto es el adecuado, debido a que dispone de una fácil implementación, menor número de componentes para su funcionamiento y un costo de implementación reducido.

Tabla 2-3: Comparación de sistemas de control

Características	Control lazo abierto	Control lazo cerrado
Implementación	Fácil	Compleja
Número de componentes	Bajo	Alto
Costo de implementación	Bajo	Alto
Rechazo a perturbaciones	No	Si

Fuente: Reyes, 2007.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

2.4 Protocolos de comunicación

En los procesos industriales no solo es suficiente tener equipos industriales de automatización para realizar un proceso efectivo sino también es necesario los protocolos de comunicación, ya que, permiten el intercambio de datos e información de los equipos hacia el usuario. Un protocolo es un grupo de normas que permite tener una comunicación entre dos o más identidades que están en un mismo sistema, con el propósito de intercambiar información (Industrias, G S L 2021).

Modbus: es el protocolo más popular. Dentro de la industria el 90% de los PLC utilizan este protocolo. Modbus no requiere una licencia y es por esta razón que la mayoría de las industrias lo utilizan (Sothis, 2021).

Modbus permite la comunicación de PLC's, computadores, drivers para motores, y diferentes tipos de elementos físicos. Este protocolo define un estándar compatible en el campo de la automatización industrial con una simple implementación para cualquier dispositivo que soporte TCP/IP. Básicamente se encapsula la trama de Modbus dentro de una trama TCP, así como se muestra en la *Ilustración 2-3* (Olaya, López y Moreno 2004).

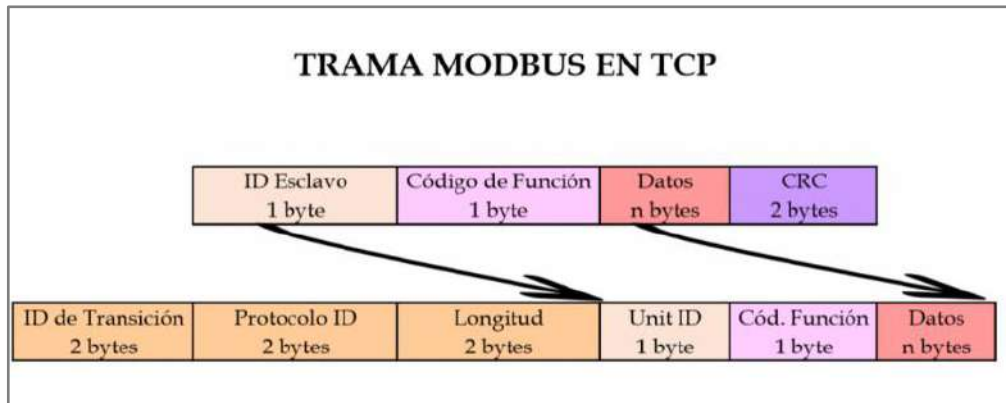


Ilustración 2-3: Trama encapsulada Modbus en TCP/IP

Fuente: Sothis, 2021.

Profibus: se trata de un protocolo que sigue estándares abiertos. Se caracteriza por su rápida velocidad de transmisión de datos y su capacidad para resistir entornos desafiantes, incluso aquellos con riesgo de explosión. Con una trayectoria de más de tres décadas en la industria, este protocolo sigue ajustándose para mantenerse al día con los avances en la fabricación (Gandhi, 2022). Según (Mascarós, Casanova y Salt 2004) el protocolo Profibus tiene tres diferentes tipos descritos a continuación:

Profibus-DP. – Se centra en la alta velocidad de transmisión para facilitar la comunicación entre el controlador programable y los dispositivos de campo.

Profibus-PA. – Está diseñado para entornos con riesgo de explosión, asegurando una comunicación fiable a alta velocidad.

Profibus-FMS. – Utilizado para la comunicación a nivel de célula, priorizando el volumen de información en entornos donde la cantidad de datos es crucial.

La arquitectura de los diferentes tipos de modelos de Profibus se puede apreciar claramente en la *Ilustración 2-4*.

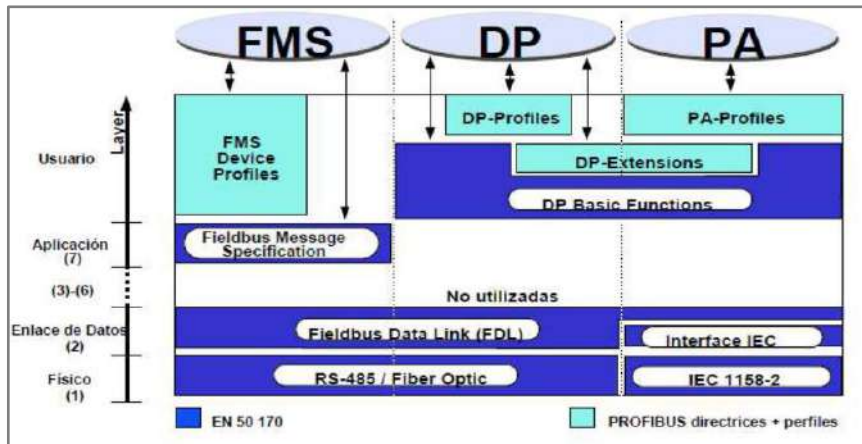


Ilustración 2-4: Arquitectura del protocolo de comunicación Profibus

Fuente: Mascarós, Casanova y Salt, 2004.

Profinet: es un estándar de Ethernet industrial abierto que se caracteriza por tener el cumplimiento de todos los requisitos en las aplicaciones de automatización. De acuerdo con los estándares de IEEE, este protocolo es apto para usarse con Ethernet (Dávila Acosta, 2023).

En el intercambio de datos se hace el uso de tres canales de comunicación, así como se muestra en la *Ilustración 2-5*.

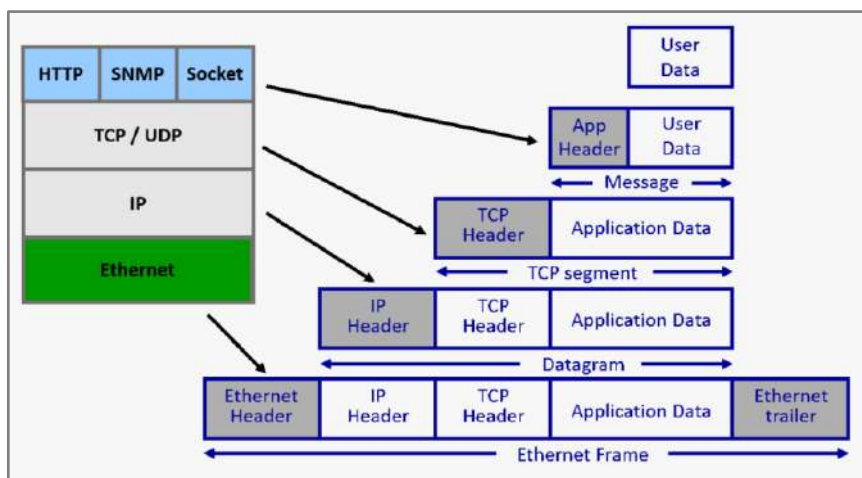


Ilustración 2-5: Arquitectura del protocolo de comunicación Profinet

Fuente: Bowne, 2020.

2.4.1 Análisis comparativo entre protocolos de comunicación

En la *Tabla 2-4* se describe una comparativa entre los protocolos de comunicación para seleccionar el que satisface las necesidades en la implementación del módulo didáctico. Al analizar las características descritas, el protocolo más adecuado para el proyecto es Modbus

debido a su fácil implementación y su arquitectura sencilla. Además, que este protocolo es el más utilizado dentro de la industria ya que ofrece un costo de implementación bajo.

Tabla 2-4: Comparación entre protocolos de comunicación

Características	Modbus	Profibus	Profinet
Implementación	Fácil	Alta	Alta
Arquitectura	Sencilla	Media	Compleja
Tecnología	Maestro/Esclavo	Maestro/Esclavo	Suministro/Consumo
Uso industrial	Alto	Medio	Bajo
Costo de implementación	Bajo	Bajo	Alto

Fuente: Powell y Eng, 2013.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

2.5 Controlador lógico programable (PLC)

Se define como una máquina electrónica específicamente diseñada para supervisar y gestionar procesos secuenciales en tiempo real, especialmente en entornos industriales. Este dispositivo es capaz de recibir información de sensores y otros dispositivos de entrada, procesar estos datos mediante un programa lógico predefinido y emitir comandos a dispositivos de salida para controlar y optimizar el funcionamiento de equipos y procesos industriales. Su función principal radica en la automatización y control de sistemas complejos, contribuyendo significativamente a mejorar la eficiencia y precisión en diversas aplicaciones industriales (Martínez, 2002).

En el mercado existen diferentes marcas y tipos de PLC's que a continuación se describen las marcas más utilizadas a nivel industrial:

Siemens. – Ofrecen soluciones de automatización integral con ingeniería TIA para mayor consistencia en procesos. Destacan por su eficiencia en seguridad, flexibilidad para conexiones en red y compatibilidad con sistemas de supervisión. Admiten programación en varios lenguajes y pueden recibir y ejecutar órdenes de forma prolongada (G. L. S. Industrias, 2021).

Delta. – Se destacan por su versatilidad al conectarse con varios dispositivos y marcas del mercado. Delta ofrece tres familias de PLC con diferentes alcances para adaptarse a diversas aplicaciones industriales (AUTOMATION, 2020).

Wecon. – Es un controlador de alto rendimiento para automatizar procesos y máquinas. Incluye entradas y salidas de pulsos de alta velocidad, cifrado de programa y asistentes para configuración de PID. La programación se realiza con el software "Wecon PLC Editor2" (WECON, 2022).

Allen Bradley. – Estos ofrecen amplia conectividad, incluyendo *Ethernet* entre otros. Facilitan la comunicación con dispositivos como HMI y SCADA. Utilizan el *software* Logix 5000 para programación con herramientas de simulación. Destacan por su alto rendimiento, velocidad y algunos modelos tienen procesadores de doble núcleo y memoria ampliable (Automation, 2023).

2.5.1 Análisis comparativo entre marcas de PLC's

En la *Tabla 2-5* se realiza una comparación entre las marcas de PLC que utilizan el protocolo de comunicación modbus. Se destaca la marca Wecon, con una puesta en marcha automática, mayor capacidad de programa y velocidad de ejecución más rápida.

Tabla 2-5: Características de diferentes marcas de PLC's

Marca Características	Delta	Wecon
Puesta en marcha (<i>stop-run</i>)	Manual	Automático
Capacidad de programa	16 k instrucciones	64 k instrucciones
Velocidad de ejecución	0.24 us	0.08 us
Protocolo de Comunicación	Ethernet, Modbus, etc.	Modbus TCP, Modbus RUT
Software de Programación	ISPsoft	Wecon PLC
Software Libre	Si	Si
Alimentación	AC-DC	AC-DC
Precio	200\$ - 300\$	150\$ - 300\$

Fuente: Martínez, 2002.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

2.6 Cilindros neumáticos

Son dispositivos mecánicos que facilita la conversión de la energía contenida en el aire comprimido en fuerzas compresivas, dando lugar a un desplazamiento lineal en ambas direcciones. Estos dispositivos, reconocidos por su diseño compacto y ligero, proporcionan un control preciso del movimiento. Su popularidad en entornos industriales se atribuye a su simplicidad, durabilidad y eficacia en la generación de fuerzas sustanciales (Ilasaca Calle, 2018).

Cilindro de simple efecto. – Son una serie de cilindros neumáticos de una sola entrada de aire que tiene como característica especial un retorno por resorte. Además, conlleva un tubo cilíndrico sellado en su interior, que alberga un pistón conectado a un vástago que se desplaza en concordancia con él. No obstante, es importante tener en cuenta que existe una disminución en la

fuerza de impulso debido a la resistencia del resorte, por lo que podría requerirse un diámetro interno algo más amplio para lograr la misma fuerza de actuación (Juan, 2020).

Cilindro de doble efecto. – Poseen una capacidad para movimiento en ambas direcciones, lo cual amplía su eficacia en la generación de fuerza y desplazamiento. La presencia de dos entradas de aire elimina la necesidad de un resorte de retorno, permitiendo una operación fluida tanto en la fase de extensión como en la de retracción. Estos cilindros se encuentran disponibles en una variedad de tamaños y capacidades, lo que los convierte en componentes adaptables para distintas aplicaciones industriales (Tornero & Fernández, 2019).

Cilindro de doble vástago. – Se trata de un actuador conformado por la disposición en paralelo de dos cilindros de doble efecto que operan de manera conjunta. Su implementación es común en aplicaciones que demandan una fuerza considerable y en las cuales se requiere que el vástago no gire durante el funcionamiento. Adicionalmente, este dispositivo ofrece un control de movimiento más preciso y una mayor estabilidad en sus operaciones (Tornero & Fernández, 2019).

2.6.1 Análisis comparativo de los cilindros neumáticos

Según los datos proporcionados en la *Tabla 2-6*, se determina que los cilindros más apropiados para la implementación del proyecto serán aquellos que presenten características de doble efecto y vástago. Esta elección se basa en sus atributos destacados, tales como el retorno a presión, fuerza alta y muy alta a comparación del cilindro restante. Además, su carrera bidireccional, precisión alta y la presencia de imanes en su interior que con la ayuda de unos sensores permiten controlar la salida del vástago para una determinada tarea.

Tabla 2-6 Características generales de los cilindros neumáticos.

Características	Simple efecto	Doble efecto	Doble vástago
Retorno	Resorte	Presión	Presión
Fuerza	Baja	Alta	Muy alta
Carrera	Unidireccional	Bidireccional	Bidireccional
Precisión	Media	Alta	Alta
Imán	No	Si	Si
Diseño	Aluminio	Aluminio	Aluminio

Fuente: Ilasaca Calle, 2018.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

2.7 Sensores

La capacidad de detectar y medir cambios en el medio es fundamental a la hora de implementar un módulo didáctico, ya que, estos simulan un proceso real. Los sensores identifican variaciones en una magnitud física como fuerza, temperatura o aceleración, y las convierte en una señal eléctrica. Es necesario adecuar esta señal para adaptarla a diversas aplicaciones. Además, existen dos categorías de señales de salida: analógicas, que presentan valores de voltaje o corriente continuos, y digitales, que únicamente registran valores discretos de cero o uno, también conocidos como sensores de presencia o ausencia (Jiménez Pallares, 2020).

Sensor inductivo. – Para la detección metálica se utiliza el sensor inductivo, el cual funciona con el principio de detección electromagnética. Son sensores con una alta precisión que no tienen la necesidad de tener contacto físico para poder detectar. Su rango de medición puede variar dependiendo el modelo y marca, pero oscila entre los 1.2-30 mm, (Ramírez Córdova, 2022).

Sensor capacitivo. – Un sensor destacado, actualmente compatible con tecnologías como IO-Link. Presenta la capacidad de identificar variaciones en la capacitancia eléctrica. Esta propiedad posibilita la distinción de la presencia o ausencia de materiales, ya sean metálicos o no metálicos en un rango estimado de 1 a 50mm. Además, estos sensores exhiben una notable resistencia a temperaturas que oscilan entre -18 y 250 °C, y pueden operar eficientemente en condiciones de presiones que van desde 6 hasta 150 bar (Reyes-Flores, 2019).

Sensor fotoeléctrico. – Una alternativa bastante utilizada cuando se requiere detectar objetos a una distancia lejana aproximadamente de 5m. Es un dispositivo que opera mediante la generación de un haz de luz, típicamente en la región infrarroja del espectro, dirigido hacia un receptor. Este instrumento incorpora una fuente de luz infrarroja para lograr mediciones precisas. Además, mantiene una temperatura operativa que se sitúa dentro del rango de -10 a 60 °C, siendo comúnmente utilizado en aplicaciones industriales, especialmente en el ámbito de la industria alimentaria (Bogusz 2020).

Sensor magnético. – Frecuentemente empleado en situaciones que demandan la identificación de presencia, posición o movimiento de objetos. Un ejemplo práctico podría ser su implementación para supervisar la extensión y retracción de un cilindro neumático. Este dispositivo, al proveer un elemento magnético, facilita su detección y ofrece rangos de medición estimados que varían desde 1 hasta 55 mm. Se trata de un instrumento diseñado para detectar

campos magnéticos o alteraciones en los mismos, transformando dicha información en una señal eléctrica(Thomazini & de Albuquerque, 2020).

2.7.1 Análisis comparativo de sensores

De acuerdo con la *Tabla 2-7* se obtiene que los sensores adecuados para el diseño del proyecto son el inductivo y el magnético debido a la alta precisión, ya que, sus distancias de medición no sobrepasan los 50mm. Además, tienen un alto rango de temperatura y son dispositivos económicos a comparación de los demás sensores.

Tabla 2-7: Características de los sensores más comunes

Características	Sensor inductivo	Sensor capacitivo	Sensor fotoeléctrico	Sensor magnético
Voltaje de operación	24 VDC	24 VDC	24 VDC	24VDC/ 110V AC
Precisión	Alta	Media	Media / Alta	Alta
Rango de medición	1.2-30mm	1.5~50mm	1cm a 5m	1-50mm
Temperatura °C	-25~70	-18~250	-10~60	-40~400
Cables	3	3	3	2
Precio	\$6-25\$	\$13-95\$	\$30- 180\$	\$2-32\$

Fuente: Reyes-Flores, 2019.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

2.8 Motores DC

Tras el análisis de los módulos didácticos, se ha determinado que la incorporación de motores de corriente continua es fundamental. Esto se debe a que los motores, como dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica mediante rotación, desempeñan un papel esencial en el traslado de objetos entre 2 o más ubicaciones a lo largo de sus ejes. Se destacan diversos tipos de motores de corriente continua, entre los cuales se incluyen los servos motores, reconocidos por proporcionar un elevado torque, así como los motores a paso, ampliamente utilizados en el ensamblaje de componentes (Fernández, 2018).

Motor reductor. - Instrumento electromecánico empleado con regularidad en aplicaciones relacionadas con sistemas de transporte y logística, tales como cintas o bandas transportadoras. Asimismo, se destaca su aplicación en el ámbito de las energías renovables, específicamente en molinos de viento para la generación eólica. Estos motores exhiben una adecuada capacidad de torque. Normalmente, los motores reductores de 5-24V son utilizados en aplicaciones electrónicas

configurados con un sistema de dos hilos. Este diseño permite invertir la dirección de rotación mediante un cambio en la polarización, proporcionando así una solución eficiente y de manejo sencillo (Chávez Salas, 2022).

Servomotor. – Categoría de motor caracterizada por generar un mayor torque y ofrecer una precisión superior. Estos motores son comúnmente utilizados en el ámbito de la robótica y la automatización, especialmente en procesos de ensamblaje y manipulación de productos. Estos dispositivos requieren una programación a través de un controlador para definir parámetros como velocidad, control de torque y ángulo de rotación. Sin embargo, su principal desventaja radica en su costo, ya que, tienden a ser más costosos en comparación con los motores de 24 VDC (Guadalupe & Sebastián, 2018).

Motor paso a paso. – Este motor singular se caracteriza por ofrecer una precisión superior, pero con un torque menor ya que, pueden ser unipolares y bipolares. Su aplicación se encuentra en módulos de ensamblaje, impresoras 3D, sistemas CNC, entre otros. Su funcionamiento para movimiento y velocidad depende de los pulsos y revoluciones que se establezca en el controlador o programación definida (Gómez Pindado & others, 2018).

2.8.1 Análisis comparativo de motores DC

En la *Tabla 2-8* se identifican dos tipos de motores que serán elegidos para la implementación del proyecto. El motor reductor se distingue por su consumo eléctrico reducido y no necesita un controlador adicional. El otro motor seleccionado es el paso a paso debido a que proporciona una precisión alta, mayor rango de corriente de trabajo. Además, ambos motores son económicos.

Tabla 2-8: Características relevantes de los motores DC más comunes

Características	Reductor	Servomotor	Paso a paso
Voltaje	5-24 VDC	9-24 VDC	12-24V
Corriente	150mA-500mA	500mA-3A	500mA- 4A
Torque	Medio	Alto	Medio / Alto
Precisión	Baja	Alta	Alta
Hilos	2	3	4
Controlador	NO	SI	SI
Precio	\$ 2-20	\$ 10-90	\$ 16-40

Fuente: Vtops, 2020.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

2.9 Controladores de motores a paso

Los motores a paso requieren la incorporación de un controlador para llevar a cabo sus funciones, tales como la gestión de los movimientos y la velocidad deseados. Estos controladores son dispositivos electrónicos cuya función principal es supervisar y dirigir los motores mediante la generación de pulsos. Existen diferentes tipos de controladores como los full-step, half-step, micropasos (Gómez Pindado y others 2018).

Controlador de paso completo. - Implica mantener siempre activadas ambas bobinas del motor simultáneamente. Al tener ambas bobinas activadas, la corriente nominal experimenta un aumento significativo, lo que conlleva a un incremento correspondiente en el par motor. Sin embargo, una desventaja asociada a este enfoque radica en que puede inducir vibraciones en el sistema (Carrillo Carrasco 2018).

Controlador de medio paso. – Se emplea de manera frecuente en entornos que demandan una mayor precisión, tales como impresiones 3D y posicionamiento de cámaras. Este controlador implementa una técnica que consiste en activar secuencialmente una única bobina y, posteriormente, ambas simultáneamente. Este proceso resulta en un movimiento más suave y gradual, caracterizado por un consumo de par intermedio y una notable mejora en la resolución del control del motor. Este enfoque prioriza la exactitud y la reducción de vibraciones, proporcionando así un mejor rendimiento (Carrillo Carrasco 2018).

Controlador de micropasos. – En la actualidad, esta opción se presenta como una destacada alternativa, ya que, puede administrar corrientes variables de manera precisa, con el objetivo de lograr en el motor un movimiento fluido, acompañado de un menor consumo energético y una resolución satisfactoria que puede extenderse hasta alcanzar los 51200 pasos por revolución. Aunque el controlador más común ofrece 10 micropasos, es necesario señalar que este controlador puede resultar más complejo, ya que, en determinadas circunstancias podría requerir la intervención de otro controlador para su funcionamiento (Berti, Roitman y Verrastro 2020).

2.9.1 *Análisis comparativo de controladores de motores paso a paso*

En la *Tabla 2-9* se ha determinado que el controlador adecuado para el diseño del proyecto es el de micropasos. Esto debido a su rango de voltaje, la capacidad de ajuste variable del amperaje, la baja vibración, su resolución de los pasos extensa y alta frecuencia.

Tabla 2-9: Características generales de los controladores más comunes de motores paso a paso

Características	Paso completo	Medio paso	Micropasos
Voltaje	24 VDC	24 VDC	24 VDC/ 48 VDC
Amperaje	Máximo	Medio	Variable
Vibración	Alta	Media	Baja
Resolución de pasos	Máximo de revoluciones	Mitad de las revoluciones	51200 por revolución
Frecuencia	5 kHz a 50 kHz	5 kHz a 50 kHz	20 kHz a 100 kHz

Fuente: Mehedi et al, 2019.

Realizado por: Maspu A, Yanchaluisa S, 2023.

2.10 Banda transportadora

Son los encargados de trasladar objetos de un punto a otro mediante la utilización un motor DC. Estas bandas, generalmente, están hechas de materiales resistentes y duraderos como goma, poliuretano o tejido de metal, se desplazan sobre rodillos o poleas motorizadas siendo estas redondas o planas (SÁNCHEZ & others, 2018).

Banda de poliuretano O-RIN. –Este tipo de banda, caracterizada por su composición de poliuretano, ofrece una durabilidad notable gracias a las propiedades, tales como su flexibilidad y resistencia al desgaste (InterBelting, 2018).

Banda de uretano plana. – Elemento industrial empleado predominantemente en la industria alimentaria y en la manipulación de cargas pesadas. Sin embargo, estas bandas carecen de adaptabilidad a poleas y están confeccionadas con un material elástico que exhibe resistencia a sustancias corrosivas (Auris Aguilar & Cárdenas Cuya, 2019).

De la *Tabla 2-10* se describen las características de las bandas más comunes donde la banda de poliuretano O-RIN es la más adecuada para para el desarrollo del proyecto, debido a su mayor rango en diámetro, resistencia y flexibilidad alta. Además de poseer una buena adaptación.

Tabla 2-10: Características de los tipos de bandas más comunes

Características	Banda poliuretano O-RIN	Banda Uretano plana
Diámetro	5-15 mm	2-5mm
Resistencia	Alta	Media
Flexibilidad	Alta	Baja
Adaptación	Muy Buena	Regular

Fuente: Suárez Hernández, 2018.

Realizado por: Maspu A, Yanchaluisa S, 2023.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo, se detallan los criterios que el módulo didáctico debe cumplir en términos de diseño, operatividad, concepción de la arquitectura, bloques constitutivos, instrumentos requeridos para su implementación en el ámbito del hardware y su aplicación en el ámbito del software. Además, se incorporará el esquema de conexión y el correspondiente diagrama de flujo asociado.

3.1 Requerimientos

De acuerdo a la investigación del segundo capítulo, se propone los requerimientos indispensables para la implementación de un módulo didáctico para el montaje de embolo, vástago y tapa de actuador neumático para un sistema de montaje de cilindros neumáticos. El funcionamiento del módulo se basa en colocar el embolo, vástago y tapa preensamblados para un cilindro de doble efecto de modelo AFCII de 20x6 mm. Este contará de con seis partes para su funcionamiento descritas a continuación:

Tablero de control

- Contendrá un PLC de marca WECON de 16 entradas y 16 salidas, dos controladores de motores P2P ST-PMC1 y dos interfaces de comunicación de 37 y 15 terminales respectivamente.
- Dispondrá de una fuente de alimentación conmutada de 24 V – 5 A.
- Constará con una estructura rectangular de madera MDF de 15 mm de espesor con las dimensiones que permita el alojamiento de los componentes mencionados anteriormente.
- El tablero deberá ser colocado en una estructura de tubo rectangular metálico a una altura de 90 cm.

Etapa de transporte

- Constará con una estructura de perfiles de aluminio de 2x2 cm y 2x4 cm.
- La banda para utilizar deberá ser de tipo O-RING.
- Dispone de un motor reductor de 24 V.

- Se requiere dos poleas dentadas de 1 cm, 2 cm de diámetro y una banda dentada de doscientos dientes.
- Para la detección del *Pallet* se ubicarán tres sensores inductivos al inicio, montaje y final del proceso.
- Para el transporte de los componentes de cilindro se deberá contar con un *Pallet* impreso en 3D con material PLA, este tendrá una pieza metálica en sus dos lados laterales.
- Para alojar la banda transportadora juntamente con todos sus componentes se requiere de una mesa de MDF de 10 mm de espesor, con un ancho que permita juntar la banda con los siguientes módulos.

Almacén

- Debe contar con un corte de material MDF y acrílico de 6 mm de espesor que permita almacenar ocho componentes del cilindro en cuatro columnas, los cuales tiene una medida de 4 cm de diámetro de embolo y 7 cm de altura de vástago.
- La mesa se moverá de manera lineal a través de un eje sinfín de 1 cm de diámetro rotado por un motor P2P.
- Todos estos componentes serán sobrepuestos sobre un perfil de aluminio de 2x8 cm sujeto por dos perfiles de aluminio 2x2 cm anclados a la banda.

Etapas de montaje

- Debe contar con una estructura de perfil de aluminio de 2x2 cm y una placa metálica de 2 mm.
- Se requiere un motor P2P con un eje sinfín de diámetro de 5 mm.
- Para la accionamiento y sujeción de los componentes se usará un cilindro de doble efecto y vástago, una pinza neumática de tres mordazas.
- Debe contar con un sensor inductivo para el posicionamiento del montaje.

Botonera

- Se dispone de cuatro accionadores: un botón de color verde para el inicio del proceso, un botón rojo de paro, un botón amarillo de reinicio, y un paro de emergencia.

HMI

- La interfaz gráfica será monitoreada y controlada a través de un computador mediante un cable ethernet.
- La pantalla contará con botones de control descritos anteriormente.
- Se dispone de indicadores lumínicos para la detección de sensores y movimiento de motores.
- Dispondrá de representaciones gráficas del estado de los actuadores neumáticos.
- Para la supervisión del número de cilindros ensamblados se dispondrá de un botón que permite acceder a una sub-pantalla donde se visualizará dicho número. Además, existirá un botón que reinicia el conteo y otro para minimizar esta pantalla.
- Se requiere una sub-pantalla de emergencia que aparezca en el momento que sea presionado el botón de paro de emergencia ya sea el botón físico o el digital.

3.1.1 *Requerimientos del proceso*

- Para el funcionamiento del sistema neumático se requiere una toma de aire a presión de 6 bar con conexión de 4 mm, la fuente de aire será el compresor VT619504AJ que se encuentra en el laboratorio de automatización.
- Todos los *pallets* deberán contar con la presencia de la camisa del cilindro neumático.
- Para la puesta en marcha del proceso se requiere que la mesa del almacén se encuentre en su posición inicial indicada por un sensor inductivo.
- El almacén deberá estar completamente lleno con los ocho componentes del cilindro neumático (embolo, vástago y tapa) para arrancar con el proceso.
- El sistema de montaje se detiene hasta que exista la presencia de un *pallet* en la posición de ensamblaje.
- Si se presiona el paro de emergencia, el proceso no realizará ningún movimiento ni acción de respuesta a los botones mientras el paro de emergencia se encuentre activado, para volver a poner en marcha el operador deberá desactivar la zeta de emergencia rotándola, luego de esto se debe presionar el botón paro seguido del botón *reset* y finalmente el botón inicio para poner en marcha el sistema.
- Cuando el sistema de montaje termine con las ocho piezas, este deberá ser reiniciado y el operario llenara todo almacén manualmente.
- En caso de existir un corte de energía y el sistema se encuentre en marcha, el proceso deberá ser puesto a sus condiciones iniciales manualmente.

3.2 Concepción de la arquitectura del proceso

La elaboración del módulo didáctico de montaje constituye una fase integral de una serie de actividades destinadas a la fabricación de actuadores neumáticos reales. Este procedimiento se lleva a cabo en las instalaciones del laboratorio de Automatización, ubicado en la Facultad de Informática y Electrónica (FIE). Dado su carácter didáctico, el módulo posibilita que los estudiantes se familiaricen con los procesos de automatización industrial de manera práctica.

El funcionamiento del módulo comienza cuando el operario presiona el botón inicio, si existe un *pallet* localizado en el sensor de inicio la banda se activará hasta que el este llegue a la posición de montaje. Además si operario pulsa el botón inicio el sistema de montaje comenzara a moverse independiente de si exista o no exista un *pallet* en la banda, el sistema se dirigirá hacia la estación de almacén a la primera posición mediante el giro del motor M1 cuando los pasos de este motor sean alcanzado se accionara el actuador lineal de doble vástago seguido por la pinza neumática, al terminar la sujeción el actuador regresa y el motor M1 volverá a su posición cero, al estar en esa posición y exista la presencia de un *pallet* en el sensor de montaje este se accionara colocando los componentes en la camisa del cilindro neumático, si no existe la presencia de *pallet* el sistema de montaje se mantendrá en espera hasta que llegue uno. Al terminar con el montaje la banda se accionará y dará paso hasta el final del trayecto, cuando el cilindro ya ensamblado pase por el sensor final la banda se desactivará luego de cinco segundos, y se volverá a activar cuando el sensor de inicio se active. Cuando el sistema de montaje termina con un proceso se dirigirá hacia la segunda fila del almacén y se repetirá el proceso. Luego de que se hayan vaciado los dos componentes de una fila, el almacén se desplazara hacia las siguientes filas con el movimiento de motor M2, cuando el proceso haya terminado con todos los ocho componentes el módulo se detendrá para que el operario rellene el almacén luego de esto se presionar el botón paro e inicio para volver a poner en marcha el sistema. La concepción de todo el proceso se presenta en la *Ilustración 3-1*.

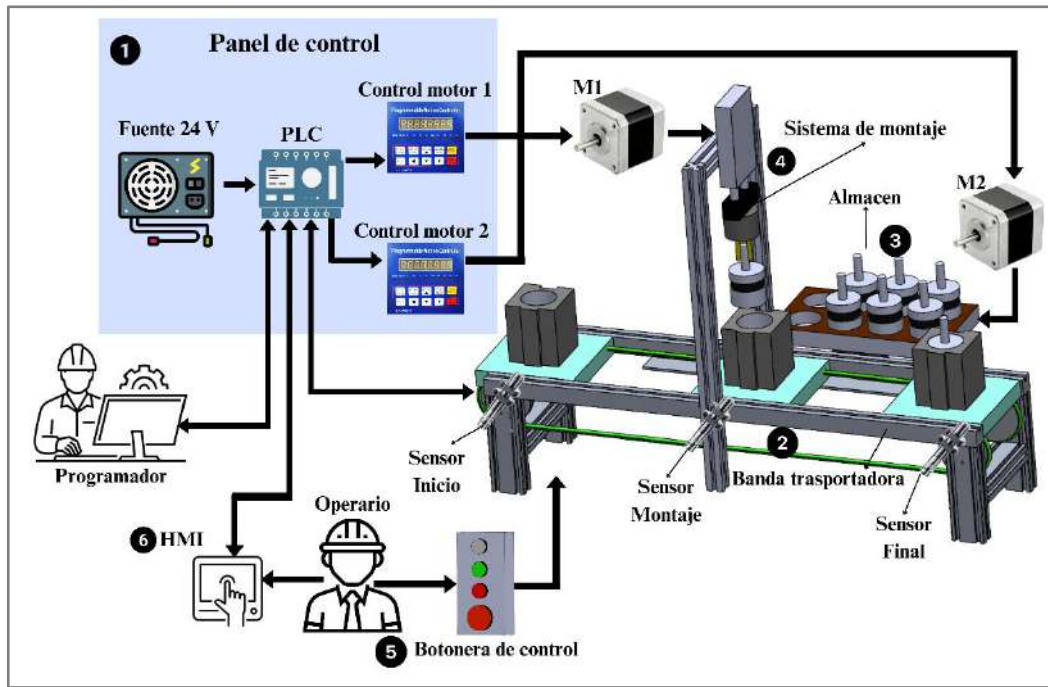


Ilustración 3-1: Concepción de la arquitectura

Realizado por: Maspuđ A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3 Descripción de los componentes *hardware* del módulo.

En esta sección se proporciona una explicación detallada de los distintos elementos empleados en la creación del módulo didáctico, destacando igualmente las propiedades más destacadas de cada uno de dichos componentes.

3.3.1 PLC Wecon Lx5S-1616MR

El elemento fundamental para el módulo didáctico es el Controlador Lógico Programable, que pertenece a la marca Wecon. Este dispositivo desempeña la función crucial de recibir las variadas señales provenientes de sensores y actuadores, para posteriormente llevar a cabo su procesamiento. Con un total de 16 entradas y 16 salidas, empleando relés, este controlador adquiere una significativa relevancia para nuestra implementación. Además, cuenta con un puerto *Ethernet* destinado a la comunicación.

En la *Ilustración 3-2* se puede observar el PLC Wecon Lx5s-1616MR utilizado para la realización del módulo didáctico.

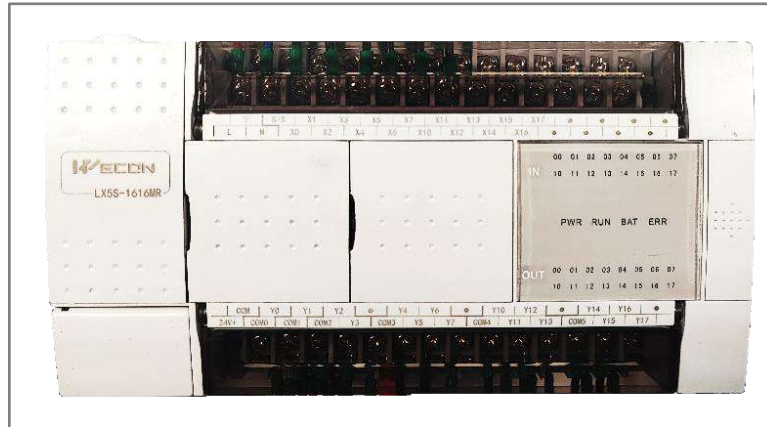


Ilustración 3-2: PLC Wecon Lx5s-1616MR

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-1* se proporciona una descripción de los aspectos técnicos más significativos del PLC Wecon Lx5s-1616MR, considerados pertinentes para la implementación en el módulo. Para obtener detalles adicionales dirigirse al anexo A de esta documentación.

Tabla 3-1: Especificaciones técnicas del PLC Wecon Lx5s-1616MR.

Especificación técnica	Características
Voltaje de alimentación	AC 85~265V 50 ~ 60Hz; DC 24V±10%
Voltaje de salida	24 V DC
Tipo de salida	Relé
Puerto serial	COM1 (RS422 / RS485); COM2 (RS485)
Tiempo de respuesta	<10ms
Programación	Lista de instrucciones; Diagrama Ladder
Corriente nominal	400 mA

Fuente: (Wecon, 2021).

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.2 Motor paso a paso 57HS56 con eje lineal y minimesa deslizante

Resulta beneficioso para el módulo didáctico, ya que posibilitará un control más preciso y ajustado a las exigencias de nuestro proyecto. Esto se logra mediante la precisión y velocidad, de acuerdo con las especificaciones, su tensión de entrada es de 24V y la corriente de 1.8 – 3.0 A. Además, tiene un eje lineal tipo tornillo facilitará el movimiento unidireccional de la minimesa, posibilitando el movimiento del almacén.

En la *Ilustración 3-3* se muestra el motor paso a paso 57HS56 con eje lineal y minimesa deslizante que fueron utilizados en la implementación del módulo didáctico.

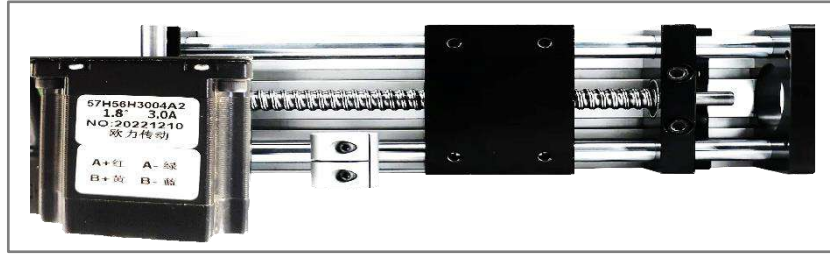


Ilustración 3-3: Motor paso a paso 57HS56 con eje lineal y minimesa deslizante

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-2*, se encuentran registradas algunas de las especificaciones técnicas más significativas del motor paso a paso 57HS56, el cual incorpora un eje lineal y una minimesa deslizante. Estas especificaciones han sido consideradas para el proceso de desarrollo del módulo didáctico. Para obtener información adicional sobre el dispositivo, consultar el Anexo B, donde se proporcionan características más detalladas.

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas de motor paso a paso 57HS56 con eje lineal y minimesa deslizante.

Especificación técnica	Características
Voltaje de entrada	24V
Corriente nominal	1.8 A
Corriente máxima	1.8~3.0A
Torque	1.2nm
Tipo	Bipolar
Diámetro del eje	12mm
Angulo de paso	1.8
Dimensiones de la mesa	50x80mm
Tipo de eje	Tipo Bola (SFU1204)

Fuente: Hoja de datos 57HS56

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.3 Motor paso a paso YUN DUAN CTM 28-0602-50

Clasificado como bipolar, asumirá la responsabilidad de desplazar el émbolo, el vástago y la tapa hacia el cuerpo o camisa del cilindro situado en la banda mediante la acción de un actuador neumático. Este actuador estará fijado a la mesa incorporada. Este dispositivo se presenta con un diseño que incluye un eje lineal y una mesa deslizante que facilitara el proceso.

En la *Ilustración 3-4* se muestra el motor paso a paso YUN DUAN CTM 28-0602-50 utilizado para el desarrollo del módulo didáctico.



Ilustración 3-4: Motor paso a paso YUN DUAN 28-0602-50

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

La *Tabla 3-3* exhibe las especificaciones técnicas del motor YUN DUAN CTM 28-0602-50, el cual incorpora un eje lineal y una minimesa deslizante, consideradas en el desarrollo del módulo didáctico. Para obtener información más detallada acerca de este dispositivo, se recomienda revisar el anexo C, donde se proporcionan mayores detalles.

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas del motor CTM 28-0602-50 (Nema 11).

Especificación técnica	Características
Voltaje de entrada	24V
Corriente nominal	0.5 A
Inductancia	14mH
Grados de paso	1.8
Torque	100mNm
Longitud del eje lineal	180mm

Fuente: Variometrum, 2022.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.4 Controlador de movimiento programable ST-PMC1

Con el propósito de llevar a cabo una ejecución precisa de los motores paso a paso, previamente mencionados anteriormente, emplearemos el controlador de movimiento programable ST-PMC1. Este dispositivo tiene la capacidad de recibir hasta 99 instrucciones, permitiendo la gestión de operaciones complejas para el posicionamiento. Dicho controlador ofrece operaciones A y B, las cuales resultarán fundamentales tanto para el control de la mesa con los componentes del cilindro como para el posicionamiento preciso de cada uno de ellos.

En la *Ilustración 3-5* se muestra el controlador de movimiento programable ST-PMC1 utilizado para el desarrollo del módulo didáctico.



Ilustración 3-5: Controlador ST-PMC1

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-4* se proporciona una descripción de los aspectos técnicos más significativos del controlador de movimiento programable ST-PMC1, considerados de manera relevante para la implementación en el módulo. Para obtener detalles adicionales, se remite al anexo D.

Tabla 3-4: Especificaciones técnicas del controlador de movimiento programable ST-PMC1.

Especificación técnica	Características
Voltaje E/S	24 V DC
Numero de ejes controlados	1
Frecuencia máxima de salida	40kHz
Filas programables	99
Entradas de señal	6
Salida de señal	3
Corriente nominal	20 mA

Fuente: Variometrum Webáruház, 2020.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.5 Controlador TB6600

Tienen la capacidad para manipular motores de tipo paso a paso con configuración bipolar. Su fácil conexión y elevada compatibilidad han contribuido a su elección. Este dispositivo ofrece salidas de pulsos a 5V y tiene la capacidad de controlar corrientes de hasta 3.5 A, ajustables según las necesidades mediante un interruptor incorporado. Este se conectará directamente con el controlador ST-PMC1 como se muestra en la *Ilustración 3-27*.

En la *Ilustración 3-6* se muestra el controlador TB6600 que ha sido utilizado para la implementación del módulo didáctico.

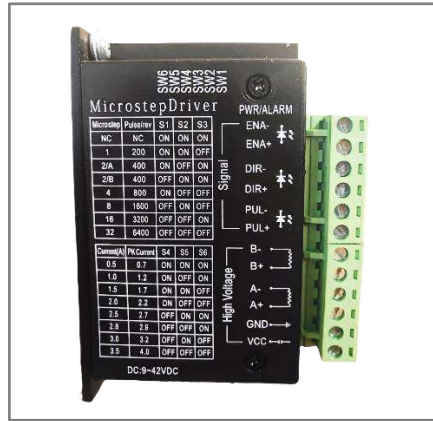


Ilustración 3-6:Controlador TB6600

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-5* se detallan las especificaciones técnicas más significativas del controlador TB6600 que han sido consideradas de manera relevante para la implementación del módulo. Para información más detallada sobre este dispositivo vea el Anexo E.

Tabla 3-5: Especificación técnica del controlador TB6600.

Especificación técnica	Características
Voltaje de entrada	9~42 VDC
Corriente nominal	0.5 mA
Corriente impulso máxima de salida	3.5 A
Potencia máxima	160 W
Resolución de micro pasos	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/ 32
Temperatura	-10~45 °C

Fuente: Hoja de datos del controlador TB6600

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.6 Fuente de poder conmutada 24 V

Este dispositivo suministra una tensión apropiada para los sensores y actuadores que serán empleados en el módulo, siendo su corriente nominal de 5 A. un aspecto esencial para su funcionamiento. Se denomina fuente conmutada debido a que opera con una entrada de corriente alterna de 110 V, generando en su salida una tensión de 24 V.

En la *Ilustración 3-7* se puede observar la fuente de poder conmutada 24V utilizado para emplear el módulo didáctico.



Ilustración 3-7: Fuente de poder conmutada 24V

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

La *Tabla 3-6* presenta las especificaciones técnicas más significativas de la fuente de alimentación conmutada de 24 V, las cuales fueron consideradas durante la concepción del módulo didáctico.

Tabla 3-6: Especificaciones técnicas de la fuente de poder conmutada 24V.

Especificación técnica	Características
Voltaje de entrada	110V- 220V AC (50/60 Hz)
Voltaje de salida	24V DC
Corriente máxima de salida	5A
Potencia máxima	120W
Conectores	Tipo bornera

Fuente: Megatronica, 2023.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.7 *Sensor LJ6A3-1-P1*

Sensor inductivo de marca CLOWEIP NP NC de tres hilos, de dimensiones compactas con una longitud cercana a los 30 mm y 6mm de diámetro. Está diseñado para la detección de objetos metálicos. Este sensor se compone de un chip inteligente que recopila la información necesaria para un procesamiento eficiente por parte del controlador. Además, se integra un cable de PVC, caracterizado por su mayor resistencia y flexibilidad.

En la *Ilustración 3-8* se muestra el sensor LJ6A3-1-P1 utilizado para el desarrollo del módulo didáctico.

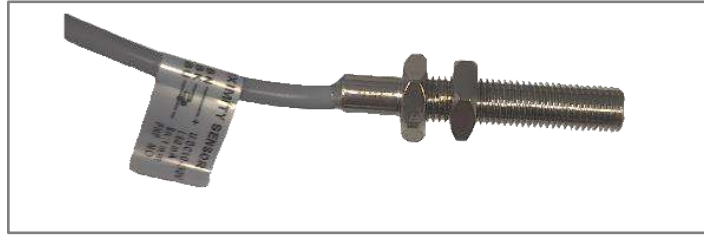


Ilustración 3-8: Sensor LJ6A3-1-P1

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

La *Tabla 3-7* se proporciona una descripción de los aspectos técnicos más significativos del sensor LJ6A3-1-P1, considerados pertinentes para la implementación en el módulo. Para obtener detalles adicionales, se remite al anexo F de esta documentación.

Tabla 3-7: Especificaciones técnicas del sensor LJ6A3-1-P1.

Especificación técnica	Características
Tipo	PNP
Distancia de censado	1mm
Voltaje de operación	12-24VDC; 110-220VAC (50/60Hz)
Control de corriente	300mA (NPN/PNP); 400mA (AC)
Frecuencia	500Hz (DC); 25Hz (AC)
Clase de protección	IP65
Temperatura de operación	-25°C-+65°C

Fuente: Cloweyt, 2021.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.8 Interfaz de comunicación DB15-D-M

Para lograr una conexión entre los sensores, actuadores y la fuente de alimentación con el módulo de comunicación, se emplea el conector o interfaz de comunicación DB15-MG6. Este dispositivo cuenta con 15 contactos diseñados para recibir información y transportarla al módulo de comunicación donde se encuentra el PLC.

En la *Ilustración 3-9* se muestra la interfaz de comunicación DB15-D-M utilizado para la elaboración del módulo.

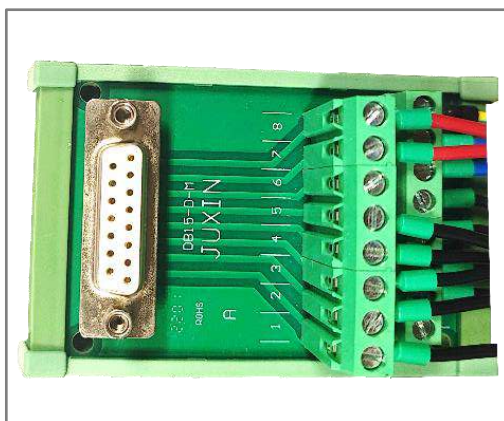


Ilustración 3-9: Interfaz de comunicación DB15-D-M

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-8* se detallan las características más significativas consideradas durante la elaboración del módulo didáctico.

Tabla 3-8: Especificaciones técnicas del interfaz de comunicación DB15-D-M.

Especificación técnica	Características
Marca	Seinoc
Interfaz del hardware	D-sub
Voltaje E/S	60V
Puerto GND	1
Dimensiones	9,4 x 7,2 x 4,4 cm
Peso	80 g
Tipo de material	Metal, cobre

Fuente: SIENOC, 2022.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.9 Interfaz de comunicación DB37-MG6

Con el propósito de mejorar el cableado y garantizar un mayor orden en la interconexión de módulos, se utiliza un conector DB37-MG6. Este conector permite la vinculación de sensores y actuadores que se encuentren cerca, teniendo así un cableado más organizado. Además, es importante destacar que estos dispositivos poseen una conexión a tierra para posibles fallos o cambios de corriente.

En la *Ilustración 3-10* se muestra la interfaz de comunicación DB37-MG6 utilizado para el desarrollo del módulo didáctico.

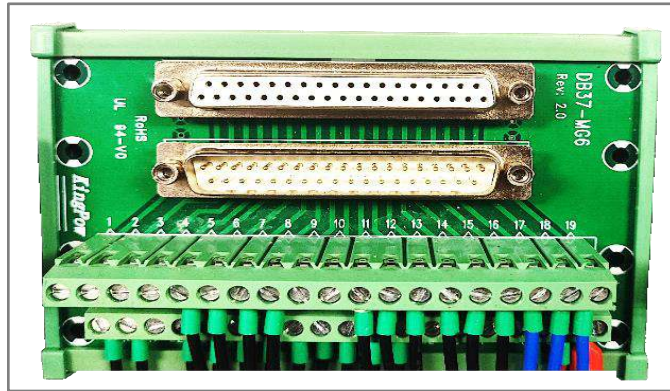


Ilustración 3-10: Interfaz de comunicación DB37-MG6

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-9* se señala las especificaciones técnicas más relevantes de la interfaz de comunicación DB37-MG6 consideradas al momento de implementar el módulo didáctico.

Tabla 3-9: Especificaciones técnicas del interfaz de comunicación DB37-MG6

Especificación técnica	Características
Dimensiones	120x85x50mm
Puerto GND	1
Voltaje E/S	60V
Corriente nominal	1A
Rango de cable	28-12AWG

Fuente: Fruugo, 2022.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.10 *Sensor magnético CHACS D-Z73*

Para la detección de la salida de los vástagos de los cilindros neumáticos, se utilizan sensores magnéticos específicamente de la serie mencionada, que son de tipo NPN y configurados con dos hilos. Estos sensores reciben la información mediante el imán integrado en el cilindro, la cual será posteriormente procesada en el Controlador Lógico Programable (PLC) con el fin de llevar a cabo acciones específicas.

En la *Ilustración 3-11* se puede observar el sensor magnético CHACS D-Z73 utilizado en la implementación del módulo didáctico.



Ilustración 3-11: Sensor magnético CHACS D-Z73

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-10* se detallan las especificaciones técnicas del sensor magnético CHACS D-Z73 utilizado para el desarrollo del módulo didáctico. Para más información detallada sobre este sensor revisar el Anexo G.

Tabla 3-10: Especificaciones técnicas del sensor magnético CHACS D-Z73.

Especificación técnica	Características
Voltaje de entrada	24 VDC ~ 100VAC
Corriente nominal	5-40mA DC ~ 5-20mA AC
Indicador led	Si, color rojo
Aplicable	PLC, Relay
Tiempo de respuesta	1,2ms
Tipo	NPN

Fuente: SMC PNEUMATICS, 2021).

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.11 Válvula SY5120-5LZD-01

Para el control de los cilindros neumáticos, se utiliza válvulas de cinco vías y dos posiciones de marca IIVVER que se activaran mediante una señal de salida del Controlador Lógico Programable (PLC) en cada instancia requerida. Dicha válvula es de tipo solenoide simple de dos posiciones y está diseñada con una configuración de dos hilos.

En la *Ilustración 3-12* se puede observar la válvula SY5120-5LZD-01 utilizada para la elaboración del módulo didáctico.

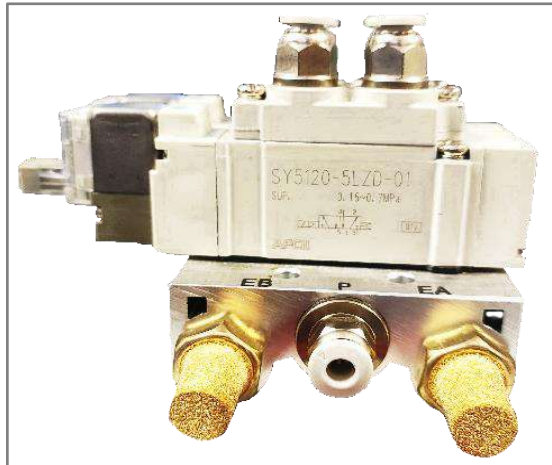


Ilustración 3-12: Válvula SY5120-5LZD-01

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-11* se presentan de forma detallada las especificaciones técnicas más significativas utilizadas durante la fase de implementación del módulo didáctico.

Tabla 3-11: Especificaciones técnicas de la válvula SY5120-5LZD-01.

Especificación técnica	Características
Voltaje E/S	24 V DC
Tipo de actuación	2 posiciones
Tipo de medio	Aire
Presión operacional	101 PSI
Tipo	Piloto
Material	Aluminio
Corriente nominal	100 mA

Fuente: SMC PNEUMATICS, 2021).

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.12 Breaker Camsco C60K-63

Utilizado como un mecanismo interruptor, de manera que, en caso de un fallo se activará de forma inmediata para interrumpir el suministro de energía. Esto proporciona seguridad a todos los dispositivos contra sobrecargas eléctricas o cortocircuitos, cabe destacar que el breaker utilizado es de la empresa Camsco.

En la *Ilustración 3-13* se puede observar el Breaker Camsco C60K-63 utilizado para la elaboración del módulo didáctico.



Ilustración 3-13: Breaker Camsco C60K-63

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-12* se detallan las especificaciones técnicas más significativas del Breaker Camsco C60K-63 utilizadas en la fase de elaboración del módulo didáctico.

Tabla 3-12: Especificaciones técnicas del Breaker Camsco C60K-63

Especificación técnica	Características
Voltaje máximo	400 V
Amperaje	6 A
Tipo	Riel
Fases	Monofásico
Marca	Camsco
Referencia	C60K-63

Fuente: INGECOM ELECTRICOS, 2022.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.13 *Cilindro neumático CHCPC TN 20x40*

Fundamental para el proyecto, ya que, se activa con la finalidad de facilitar el ensamblaje del émbolo vástago y la tapa por parte del cuerpo del actuador neumático. Estos elementos están asegurados en una pinza que se describe detalladamente en la sección siguiente. Cabe destacar que este cilindro posee un diseño de doble eje, permitiendo así el soporte de otro terminal.

En la *Ilustración 3-14* se observa el cilindro neumático CHCPC TN 20x40 utilizado para la elaboración del módulo didáctico.



Ilustración 3-14: Cilindro neumático CHCPC TN 20x40

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-13* se detallan las especificaciones técnicas más significativas del cilindro CHCPC TN20x40 que fueron tomadas en cuenta al momento del desarrollo del módulo didáctico.

Tabla 3-13: Especificaciones técnicas del cilindro CHCPC TN20x40.

Especificación técnica	Características
Fluido	Aire
Presión de operación	0.1~1.0MPa
Rango de velocidad mm/s	30~500
Tipo de actuación	Doble efecto
Temperatura	-20~70
Carrera ajustable mm	-10~0

Fuente: Automaq, 2022.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.14 Pinza neumática MSH3

Empleada para asegurar los elementos del cilindro neumático, como el émbolo, el vástago y la tapa de marca AFCII. Esta pinza está compuesta por tres mordazas generada una alta capacidad de sujeción. Estas mordazas sujetaran al cilindro neumático de doble eje mencionado anteriormente. La coordinación entre la pinza y el cilindro de doble eje es fundamental para la sujeción y traslado de dichos componentes a su ubicación correspondiente.

En la *Ilustración 3-15* se muestra la pinza MSH3 utilizada para la implementación del módulo didáctico.



Ilustración 3-15: Pinza MSH3

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-14* se detallan las especificaciones técnicas más relevantes de la pinza MSH3 que fueron tomados en cuenta para la elaboración del módulo didáctico.

Tabla 3-14: Especificaciones técnicas de la pinza MSH3.

Especificación técnica	Características
Fluido	Aire
Presión de operación	0.2~0.6 Mpa
Temperatura	-10~60 °C
Marca	AFCII

Fuente: Emerson, 2020.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.15 *Motorreductor 24V DC 27RPM*

Para el desplazamiento de la banda transportadora se utiliza un motorreductor fabricado por Opencircuit. Este componente recibe las instrucciones de movimiento a través de la información proporcionada por distintos sensores ubicados en la estructura de la banda. Cabe mencionar que dicho dispositivo presenta un torque de 154.3 lbs.cm con una caja de cambios de configuración cuadrada.

En la *Ilustración 3-16* se muestra el motorreductor 24V DC 27RPM utilizados para la implementación del módulo didáctico.



Ilustración 3-16: Motorreductor 24VDC 27RPM

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-15* se presentan las especificaciones técnicas principales del motorreductor 24V DC 27RPM, que resultan más representativas para la implementación. Información más detallada del dispositivo se encuentra en el Anexo H.

Tabla 3-15: Principales especificaciones técnicas del motorreductor 24VDC 27RPM.

Especificación técnica	Características
Voltaje	12/24V DC
Velocidad sin carga	7 RPM
Torque	154.3 lbs.cm
Tipo	Engranajes
Construcción	Imán permanente
Potencia máxima	5 W

Fuente: Worm Gear Motor, 2020.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.16 *Bloque de terminales de sensores 4-6 vías*

Cuenta con configuraciones de tres y dos hilos en modo PNP/NPN. El bloque de terminales para sensores de 4-6 vías de marca IDEAWELL es un componente que simplifica la interconexión de los cuatro sensores a través de los cuatro cables correspondientes, facilitando así la comunicación y cableado del módulo didáctico.

En la *Ilustración 3-17* se muestra el bloque de terminales de sensores 4-6 utilizado para la elaboración del módulo didáctico.

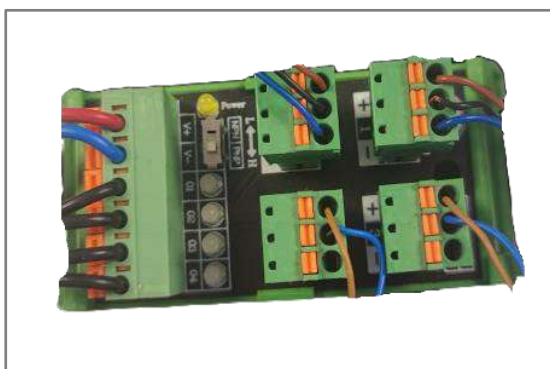


Ilustración 3-17: Bloque de terminales de sensores 4-6

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-16* se presentan las especificaciones técnicas principales del bloque de terminales para sensores de 4-6 vías, que resultaron más representativas para la elaboración del módulo.

Tabla 3-16: Especificaciones técnicas principales del bloque de terminales para sensores 4-6.

Especificación técnica	Características
Marca	IDEAWELL
Peso	1g
Modos de operación	NPN/PNP
Alimentación	24VDC
Terminales de entrada	12
Terminales de salida	4

Fuente: MHTNC, 2021.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.17 Botonera de control

Está situada en el borde de la estructura de la banda para tener acceso al control del módulo, el cual, está compuesto por un pulsador de *reset*, inicio, paro, y zeta de emergencia de marca CAMSCO y FATO respectivamente. Con la finalidad de tener un arranque manual en el módulo didáctico con los botones que son mayormente utilizados en la automatización industrial.

En la *Ilustración 3-18* se muestra la botonera que se implementó para la elaboración del módulo didáctico.



Ilustración 3-18: Botonera de control

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-17* se presentan las características principales de elementos de la botonera de control que resultaron más significativas para la elaboración del módulo.

Tabla 3-17: Características principales de elementos de la botonera de control.

Marca	Color	Función	Características
CAMSCO	Verde	Inicio	22mm; 24VDC; NA
CAMSCO	Rojo	Paro	22mm; 24VDC; NC
CAMSCO	Rojo	Paro de emergencia	22mm;24VDC: NC
CAMSCO	amarillo	Reset	22mm;24VDC: NC

Fuente: Camsco, 2022.

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.18 Cables de conexión de interfaces de comunicación

Facilitan la flexibilidad del módulo didáctico al permitir la interconexión de sensores y actuadores. Asimismo, permiten la fácil movilidad del módulo ya que dispone una longitud de 1,50m y 1m de largo respectivamente.

Cable DB-15

En la *Ilustración 3-19* se muestra el cable DB-15 utilizado para la conexión del módulo didáctico.

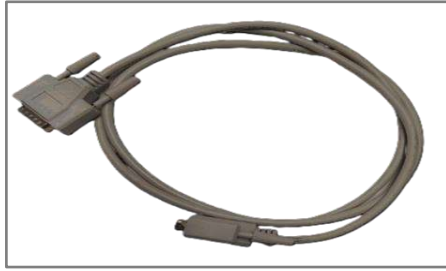


Ilustración 3-19: Cable DB-15

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Cable DB-37

En la *Ilustración 3-20* se muestra el cable DB-37 utilizado para la conexión del módulo didáctico.



Ilustración 3-20: Cable DB-37

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.19 Bornera de contacto

Permiten establecer un orden y facilitar la identificación de conexiones tanto de la alimentación como de los controladores hacia los diferentes sensores y actuadores acoplados al sistema.

En la *Ilustración 3-21* se muestra la bornera de contacto utilizada para el desarrollo del módulo didáctico.



Ilustración 3-21: Bornera de contacto

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.3.20 Canaleta ranurada y carril DIN

Durante el desarrollo del tablero se ha utilizado una significativa cantidad de cables, por lo que se ha elegido implementar una canaleta con ranura de 40x40mm, esto con el fin de establecer un orden.

En la *Ilustración 3-22* se muestra la canaleta ranurada utilizada para la elaboración del módulo didáctico.



Ilustración 3-22: Canaleta ranurada 40x40 mm

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Por otra parte, para mantener en la ubicación correcta de los dispositivos como: PLC, breaker, interfaces de comunicación, borneras entre otras, se implementa un carril DIN en el cual se puede observar en la *Ilustración 3-23*.

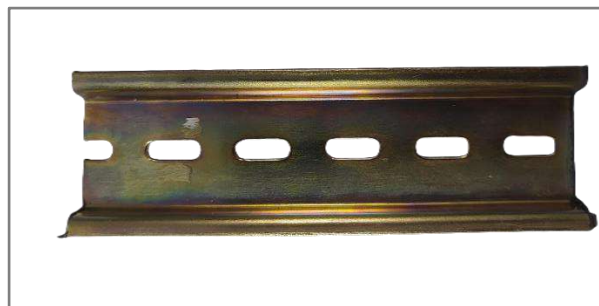


Ilustración 3-23: Carril DIN

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.4 Diseño eléctrico

Se han creado varios planos detallados dentro de la aplicación Cade-Simu. Estos planos tienen el propósito de mostrar de manera clara y precisa la disposición del cableado en el módulo didáctico. La representación abarca desde los cables de alimentación hasta la conexión con dispositivos de campo. Estos planos específicos permiten visualizar de manera detallada y comprensible cómo se

estructura y organiza el sistema de cables en el contexto del módulo didáctico, abarcando desde su fuente de energía hasta la interacción con dispositivos externos.

3.4.1 Consumo eléctrico del módulo didáctico

Frente a la eventualidad de posibles fallas y la ocurrencia de elevados picos de corriente en la red eléctrica, resulta de suma importancia la implementación de sistemas de protección destinados a resguardar los componentes eléctricos. Estos sistemas, conocidos como interruptores de circuito o disyuntores, desempeñan la función crucial de preservar la integridad de dichos elementos. Para el dimensionamiento de este elemento se utiliza la Ecuación (1).

$$I_T = \sum_{n=1}^m i_n \quad (1)$$

Donde:

I_T : Consumo total del circuito

i_n : Consumo de corriente de cada elemento del circuito

En la *Tabla 3-18* se muestra cada uno de los elementos eléctricos que componen el módulo didáctico con sus consumos nominales de corriente, el cual indica un total de 5,4 A en consumo de los elementos eléctricos. Por tanto, se requiere un breaker de 6 A.

Tabla 3-18: Consumo de los elementos eléctricos del módulo didáctico.

Cantidad	Elemento	Consumo nominal de corriente
1	PLC Wecon	400mA
2	Electroválvula 5/2	100mA
5	Sensor inductivo	300mA
2	Sensor magnético	5mA
2	Driver TB6600	0,5mA
2	Controlador ST-PMC1	20mA
1	Motor P2P 1	1,8A
1	Motor P2P 2	500mA
Total		5,4A

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.4.2 Plano de alimentación AC y DC del tablero de control

La *Ilustración 3-24* presenta el diagrama eléctrico que detalla las conexiones de alimentación hacia el tablero de control. Este diagrama parte desde la red suministrada por la empresa eléctrica y llega hasta las conexiones de 24V situadas en las interfaces DB-37 y DB-15, respectivamente.

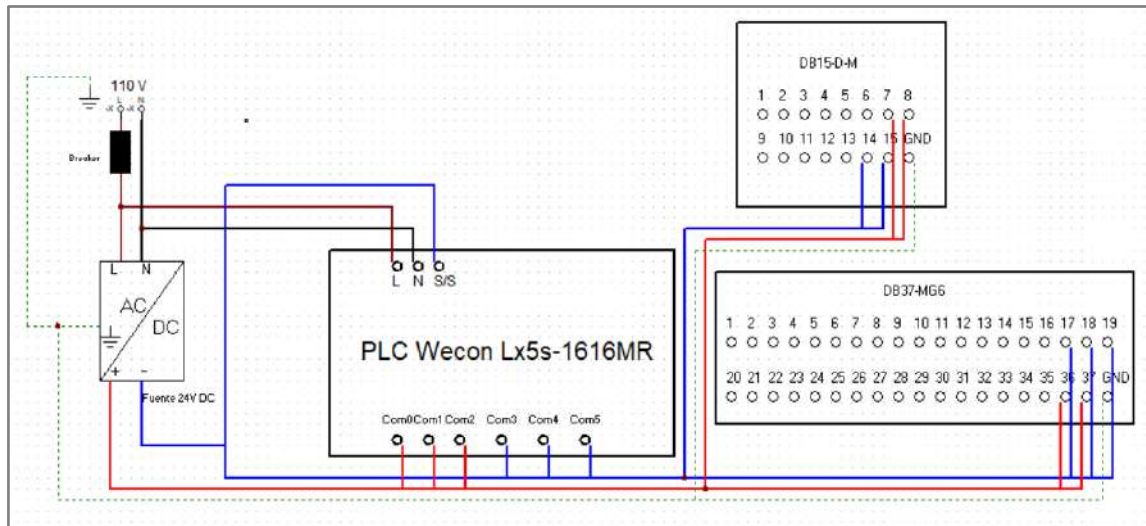


Ilustración 3-24: Plano eléctrico de alimentación AC y DC

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Para comprender de mejor manera las conexiones, se muestra la *Tabla 3-19* con cada una de las conexiones de alimentación del plano presentado en la *Ilustración 3-25*.

Tabla 3-19: Conexiones de alimentación

Alimentación	PLC Wecon
Línea 110V	Terminal L
neutro 110V	Terminal N
Negativo 24V	Terminal S/S
Positivo 24V	Com 0
Positivo 24V	Com 1
Positivo 24V	Com 2
Negativo 24V	Com 3
Negativo 24V	Com 4
Negativo 24V	Com 5
Alimentación	DB37-MG6
Negativo 24V	Terminal 17
Negativo 24V	Terminal 18
Negativo 24V	Terminal 19
Positivo 24V	Terminal 36

Alimentación	DB37-MG6
Positivo 24V	Terminal 37
GND fuente 24V	Terminal GND
Alimentación	DB15-D-M
Positivo 24V	Terminal 7
Positivo 24V	Terminal 8
Negativo 24V	Terminal 14
Negativo 24V	Terminal 15
GND fuente 24V	Terminal GND

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.4.3 Plano eléctrico de conexiones entradas y salidas del PLC hacia las interfaces de conexión DB

Este plano destaca principalmente las conexiones de entrada y salida del PLC hacia las interfaces de conexión DB-37 Y DB15. Estas interfaces se conectan posteriormente a otro conjunto dentro del proceso para facilitar la comunicación entre actuadores, sensores y la botonera de control.

La representación estas conexiones se puede observar con claridad en la *Ilustración 3-25*.

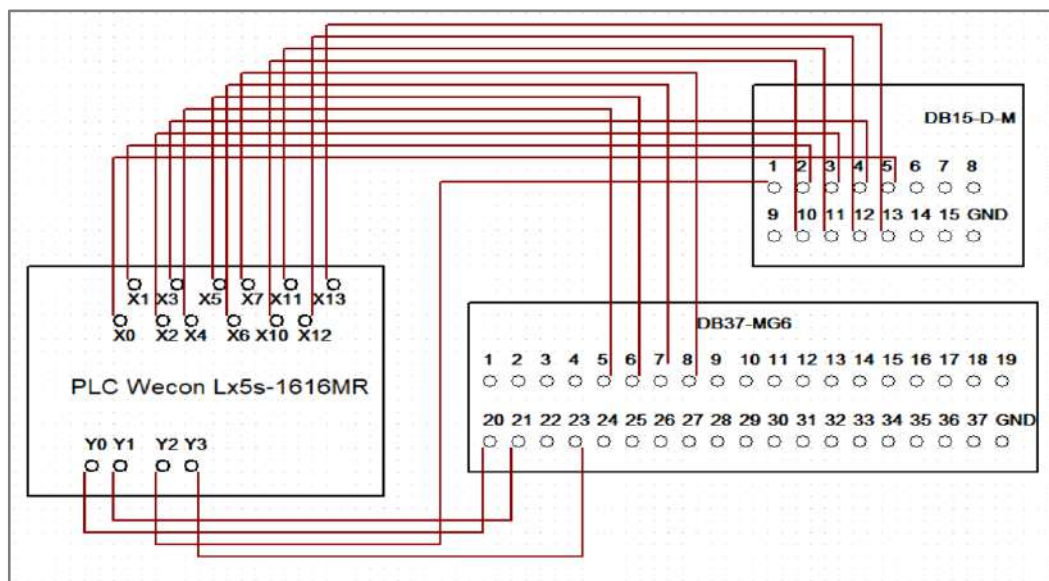


Ilustración 3-25: Conexión de entradas y salidas hacia interfaces DB

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Para mayor entendimiento de las conexiones de entradas y salidas del PLC con las interfaces de conexión DB-37 Y DB-15 se presenta la *Tabla 3-20*.

Tabla 3-20: Conexiones de entras y salidas de PLC hacia interfaces DB37-MG6 y DB15-D-M

PLC Wecon	DB37-MG6	DB15-D-M
X0		Terminal 5
X1		Terminal 2
X2		Terminal 3
X3		Terminal 4
X4	Terminal 5	
X5	Terminal 6	
X6	Terminal 7	
X7	Terminal 8	
X10		Terminal 10
X11		Terminal 11
X12		Terminal 12
X13		Terminal 13
Y0	Terminal 20	
Y1	Terminal 21	
Y2		Terminal 1
Y3	Terminal 23	

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.4.4 Plano eléctrico de conexiones con elementos de campo

Después de establecer las conexiones entre las interfaces y el PLC, se procede a realizar el cableado de todos los dispositivos ubicados dentro del proceso. Este proceso de cableado abarca la interconexión de todos los componentes: sensores, electroválvulas, motor DC banda, y botonera de control. El plano eléctrico se muestra en la *Ilustración 3-26*.

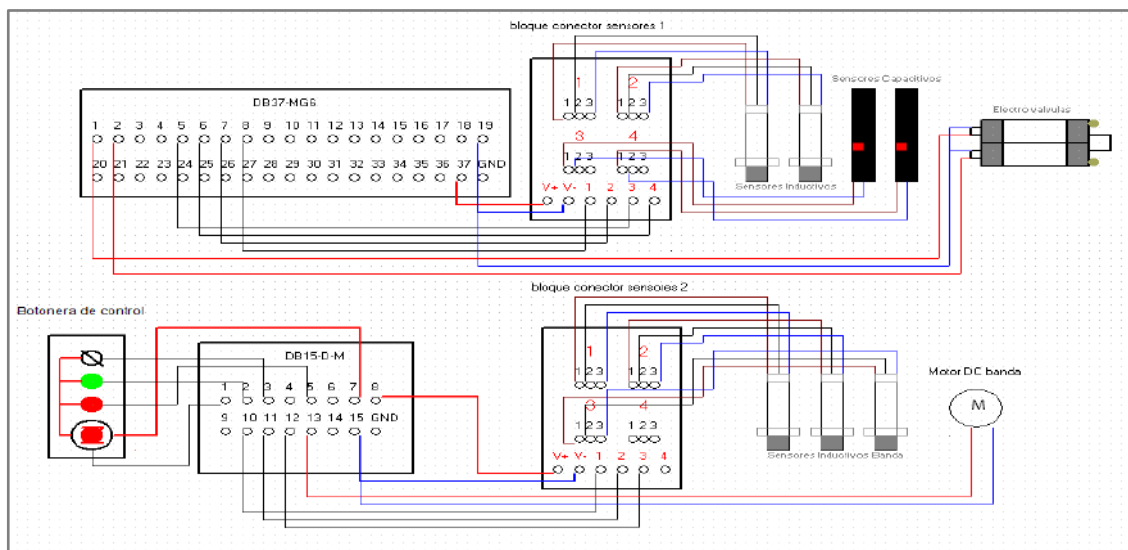


Ilustración 3-26: Plano de conexión elemento de campo

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Las conexiones realizadas en este plano se muestran de manera específica en la Tabla 3-21.

Tabla 3-21: conexiones de elementos de campo con interfaces de conexión DB37 y DB15

DB37-MG6	Electroválvulas
Terminal 1	Válvula 1 +
Terminal 2	Válvula 2 +
Terminal 19	Válvula 1 -, Válvula 2 -
	Bloque de sensores 1
Terminal 5	Sensor capacitivo 3
Terminal 6	Sensor capacitivo 4
Terminal 7	Sensor inductivo 2
Terminal 8	Sensor inductivo 1
Terminal 19	V+
Terminal 37	V-
	Botonera de control
Terminal 1	Zeta de emergencia
Terminal 2	Botón de inicio
Terminal 5	Botón de paro
Terminal 3	Botón reinicio
Terminal 7	Alimentación V+
	Bloque de sensores 2
Terminal 10	Sensor inductivo 1
Terminal 11	Sensor inductivo 2
Terminal 12	Sensor inductivo 3
Terminal 8	V+
Terminal 15	V-
	Banda transportadora
Terminal 13	Motor DC banda V+
Terminal 15	Motor DC banda V-

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.4.5 Plano eléctrico de conexión de motores P2P

Para llevar a cabo la configuración de las conexiones eléctricas de los motores paso a paso, se emplea la aplicación de simulación Cade-Simu en su versión 4.2. Este programa permite la creación de diagramas de conexión mediante la elaboración de bloques eléctricos que representan cada uno de los componentes requeridos para el funcionamiento de los motores paso a paso. El primer motor paso a paso asume la responsabilidad de desplazar la mesa junto con los elementos asociados al cilindro neumático, mientras que el segundo, se encarga de trasladar los componentes del cilindro previamente sujetos por la pinza hacia el cuerpo del actuador neumático, tienen las siguientes conexiones.

En la *Ilustración 3-27* se presenta el esquema de conexiones empleado con el propósito de proporcionar movimiento al primer motor paso a paso.

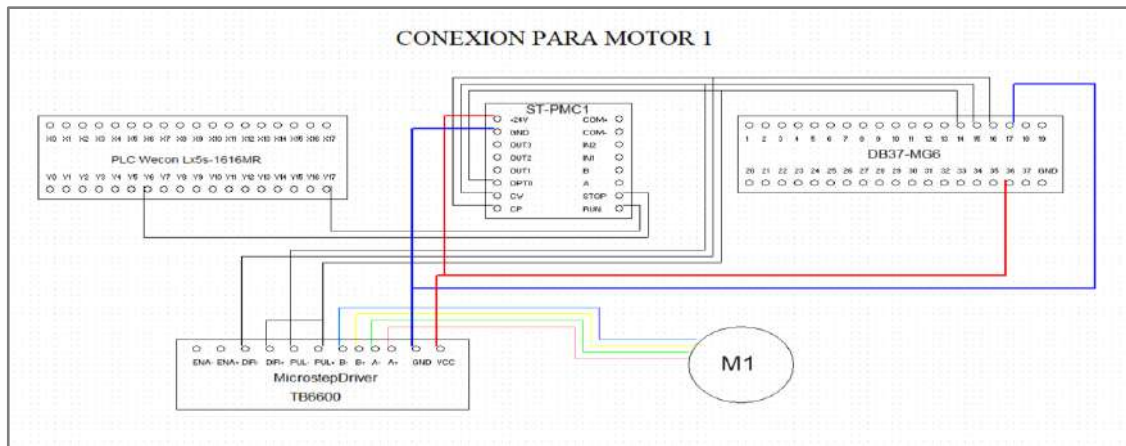


Ilustración 3-27: Diagrama de conexión para motor P2P #1

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Con el propósito de mejorar la comprensión del diagrama de conexiones previo, se proporciona la *Tabla 3-22*, la cual detalla las interconexiones del mencionado esquema. Este sigue una disposición secuencial de izquierda a derecha, con la finalidad de facilitar la comprensión de manera apropiada.

Tabla 3-22: Descripción del diagrama de conexiones para el motor P2P #1.

PLC Wecon Lx5s-1616MR	ST-PMC1
Y17	RUN
Y6	STOP
ST-PMC1	DB37-MG6
OPT0	Terminal 14
CW	Terminal 15
CP	Terminal 16
DB37-MG6	TB6600
Terminal 14	PUL+
Terminal 15	PUL-
Terminal 14	DIR+
Terminal 16	DIR-
TB6600	Motor 1
B-	Azul
B+	Amarillo
A-	Verde
A+	Rojo

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

En la *Ilustración 3-28* se exhibe el diagrama de conexiones utilizado con el propósito de impartir movimiento al segundo motor paso a paso.

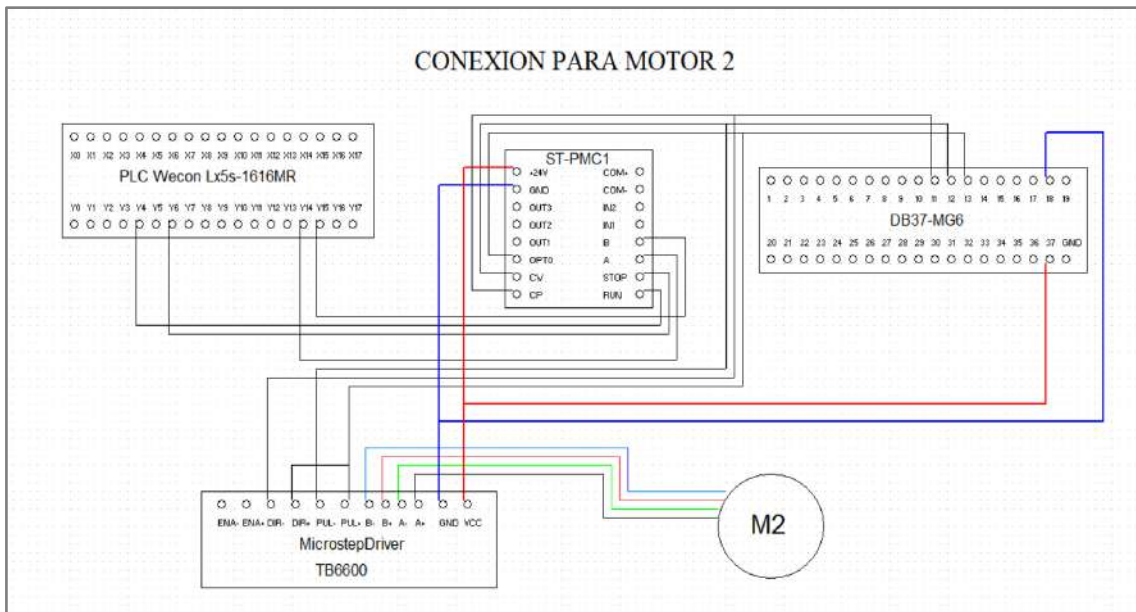


Ilustración 3-28: Diagrama de conexiones para el motor P2P #2

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Asimismo, con el propósito de facilitar una comprensión más clara, se presenta la *Tabla 3-23*, la cual ofrece una descripción detallada de las conexiones del segundo motor paso a paso.

Tabla 3-23: Descripción del diagrama de conexiones para el motor P2P #2

PLC Wecon Lx5s-1616MR	ST-PMC1
Y4	RUN
Y6	STOP
Y14	A
Y15	B
ST-PMC1	DB37-MG6
CP	Terminal 11
CW	Terminal 12
OPT0	Terminal 13
DB37-MG6	TB6600
Terminal 13	PUL+
Terminal 12	PUL-
Terminal 13	DIR+
Terminal 11	DIR-
TB6600	Motor 1
B-	Azul

B+	Rojo
A-	Verde
A+	Negro

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

3.5 Esquema neumático

En la versión 4.2 del programa de simulación FluidSIM, se ha llevado a cabo el desarrollo del esquema neumático de manera similar con la implementación realizada. Esto gracias a los diversos elementos que dispone dicho software tanto para aplicaciones neumáticas como eléctricas.

En la *Ilustración 3-29* se muestra el esquema neumático implementado para el sistema de montaje de embolo, vástago y tapa de cilindros neumáticos.

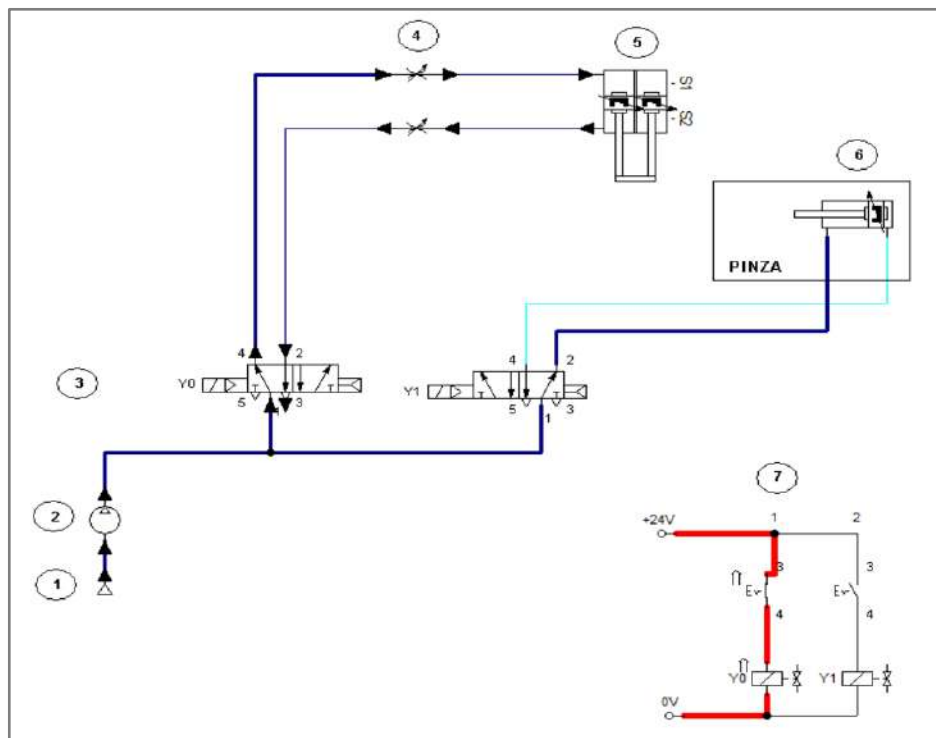


Ilustración 3-29: Esquema neumático para el sistema de montaje

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

En la *Tabla 3-24* se detallan los componentes más relevantes del esquema neumático que involucran al diseño del esquema neumático para el sistema de montaje.

Tabla 3-24: Parámetros del esquema neumático presentado.

Numeración	Descripción
1	Fuente de alimentación
2	Compresor
3	Electroválvulas 5/2
4	Estrangulamiento
5	Cilindro de doble efecto doble vástago
6	Simulación de pinza doble efecto
7	Accionamiento de PLC: Y0, Y1

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

El sistema neumático se compone de dos electroválvulas encargadas de gestionar los dos actuadores neumáticos. El primer actuador con un doble vástago de dimensiones 40x40 mm, se activa para descender hacia los componentes del cilindro neumático. El segundo actuador consiste en una pinza de tres mordazas, cuya función es sujetar los componentes del cilindro. Una vez sujetos, el primer actuador regresará a su posición inicial y se dirigirá hacia el punto de ensamblaje para posteriormente activarse y ejecutar una secuencia de acciones hasta lograr el ensamblaje completo del cilindro.

3.6 Software de desarrollo para el módulo didáctico

El *software Wecon PLC Editor2* (WECON 2022), permite llevar a cabo la programación mediante el método estructural *Ladder*. Sin embargo, es importante seguir un conjunto de pasos específicos para llegar a la programación final.

El diagrama de flujo compacto mostrado en la *Ilustración 3-30* describe la secuencia desde el inicio con la activación de la banda y al sistema de ensamblaje si el sensor de montaje está activo. Luego de esto se activa la banda nuevamente si el sensor de posicionamiento se activa dando paso al cilindro ensamblado hasta el final de la banda. El diagrama de flujo de todos los pasos se muestra en el Anexo I.

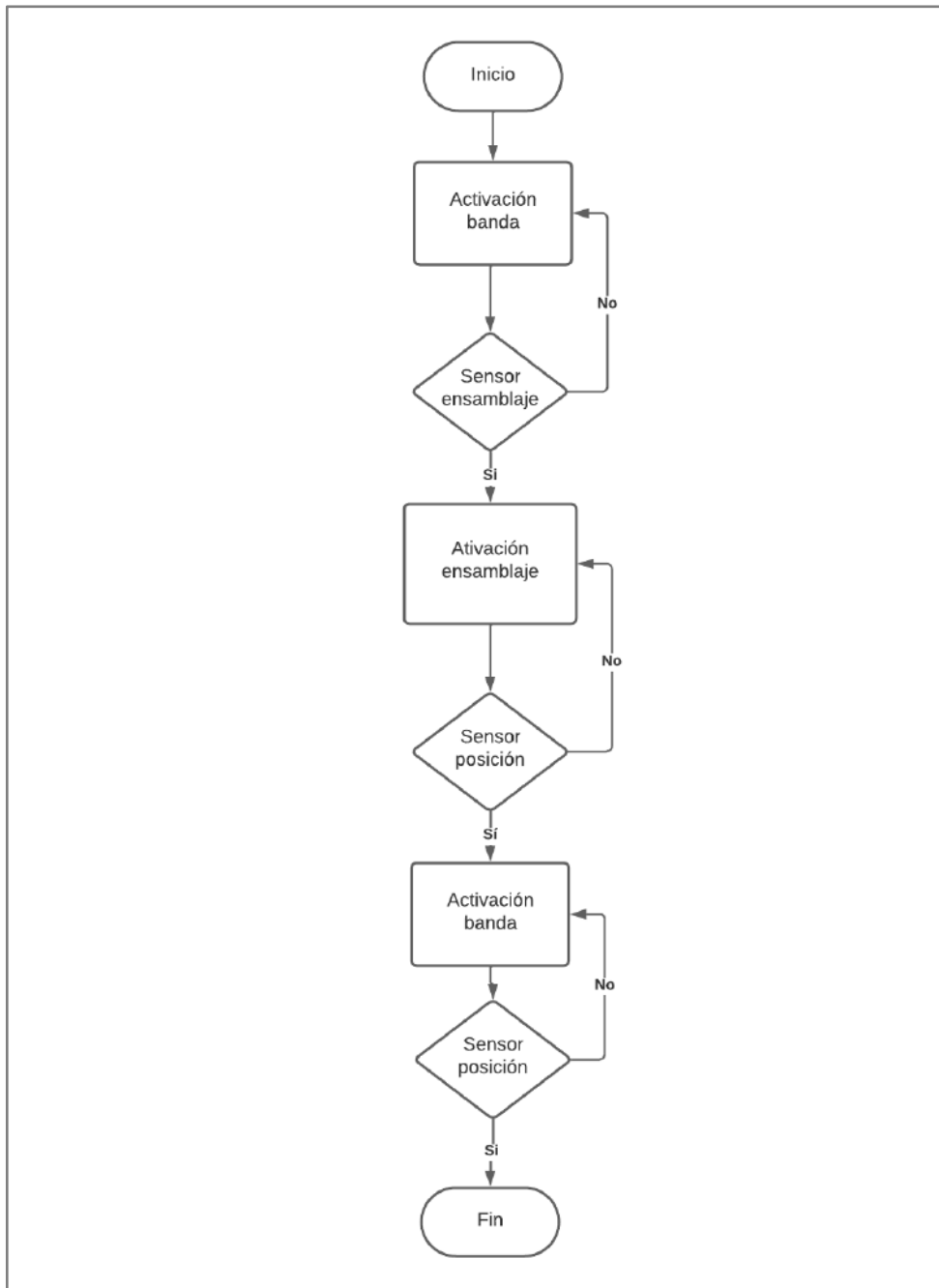


Ilustración 3-30: Diagrama de flujo proceso de montaje de cilindros neumáticos

Fuente: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Con esto, se procede a realizar la programación de todos los pasos a seguir para el correcto funcionamiento del proceso. En la *Ilustración 3-31* se muestra un fragmento de programación que es la encargada de iniciar el programa mediante el botón inicio conectado a la entrada X1 del PLC.

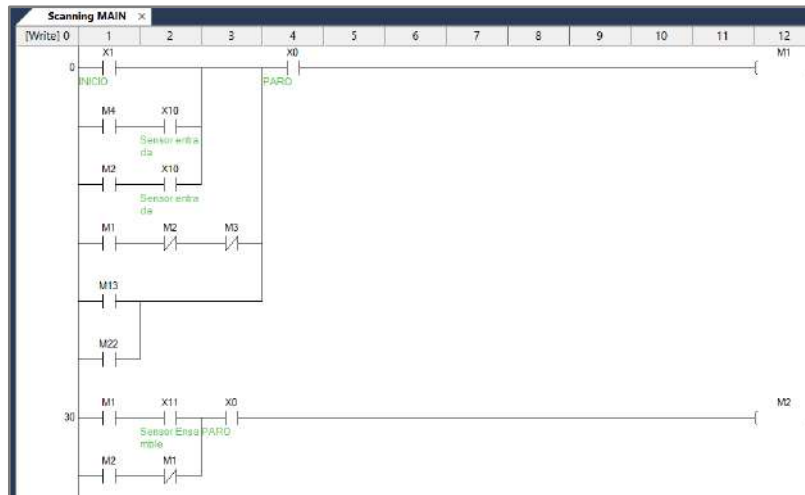


Ilustración 3-31: Fragmento de programación del módulo didáctico

Fuente: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

La programación completa del módulo didáctico se encuentra descrita en el Anexo J, donde se describe todas las líneas de código implementado en el programa PLC *Wecon Editor2*.

3.7 Diseño HMI

Con el programa PISstudio version R05R998_V8.2.95_D20220928, se realiza el diseño de una interfaz gráfica que permite conocer el estado de sensores, motores y actuadores neumáticos. Además, permite controlar todo el proceso mediante un computador teniendo botones de mando dentro del HMI, como se observa en la *Ilustración 3-32*.



Ilustración 3-32: Interfaz gráfica de monitoreo (HMI).

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023

Además, se realiza el diseño de dos sub-pantallas: una para visualizar el conteo de las piezas ensambladas y otra de alarma cuando el botón de paro de emergencia sea presionado. Estas sub-pantallas se observan en la *Ilustración 3-33* y *3-34*.



Ilustración 3-33: Sub-pantalla de conteo de cilindros

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.



Ilustración 3-34: Pantalla de emergencia

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.8 Diseño estructural

En esta sección, se detallan los planos de las secciones que permiten el soporte estructural para la instalación de todos los elementos electrónicos y neumáticos. La configuración mecánica del módulo didáctico se fundamenta principalmente en perfiles de aluminio, madera MDF y acrílico. Todos estos planos fueron realizados en *software* de modelado 3D Solid Works versión 2022. Los planos completos se muestran en el Anexo K.

3.8.1 Plano estructural banda transportadora

La configuración de la banda transportadora cuenta con dimensiones precisas para garantizar el alojamiento adecuado de varios elementos eléctricos, como sensores y el motor de corriente continua (DC). Además, la banda transportadora debe ser robusta, ya que constituye la base sobre la cual se ensamblarán las demás estructuras. Las dimensiones de los materiales utilizados en la construcción de esta banda se muestran en la *Tabla 3-25*.

Tabla 3-25: Material estructural para la banda transportadora

Cantidad	Material	Dimensiones
2	Perfil de aluminio	40mmx20mmx980mm
4	Perfil de aluminio	20mmx20mmx900mm
2	Perfil de aluminio	40mmx20mmx250mm
4	Perfil de aluminio	40mmx20mmx150mm

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Al integrar todos estos elementos en una única estructura, se obtiene la configuración completa de la banda transportadora, así como se observa en la *Ilustración 3-35*.

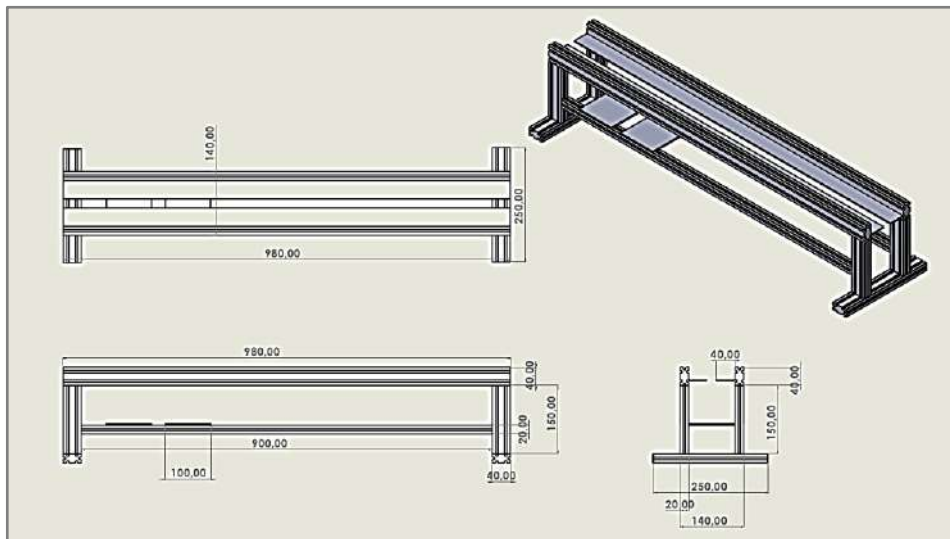


Ilustración 3-35: Plano estructural Banda transportadora

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.8.2 Plano estructural soporte superior de elementos eléctricos y neumáticos

El diseño de la estructura se concibe para albergar tanto elementos eléctricos como neumáticos. Su forma adopta la configuración de un arco con una base de acero debidamente dimensionada

para acomodar todos los componentes necesarios. En la *Tabla 3-26* se describe todos los materiales necesarios para formar esta estructura.

Tabla 3-26: Materiales para la estructura del soporte superior

Cantidad	Material	Dimensiones
2	Perfil de aluminio	20mmx20mmx400mm
2	Perfil de aluminio	20mmx20mmx230mm
2	Perfil de aluminio	20mmx20mmx100mm
2	Perfil de aluminio	20mmx20mmx140mm
1	Placa de acero	100mmx410mmx2mm

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Para examinar los planos de la estructura de manera más detallada se recomienda dirigirse a la *Ilustración 3-36*. En esta representación, se ha logrado una visualización clara y precisa de toda la estructura mecánica del soporte superior.

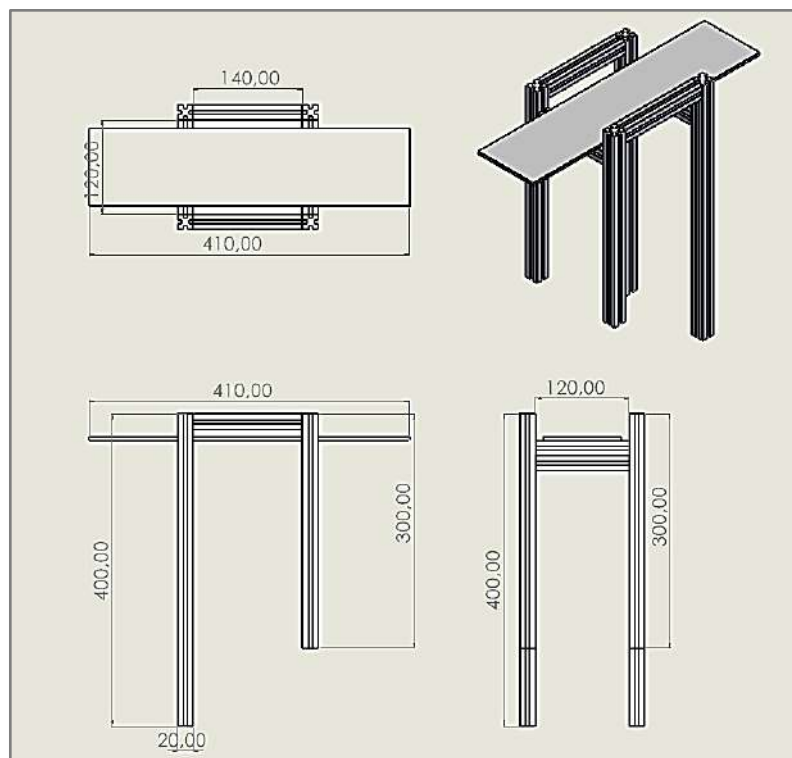


Ilustración 3-36: Plano estructural soporte superior

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.8.3 Plano estructural Almacén

Para la elaboración de esta estructura se usa un perfil de aluminio y un corte de acrílico con MDF, que permite realizar los agujeros para el almacenaje de los diferentes elementos que serán ensamblados dentro del cuerpo del cilindro neumático. Los materiales usados se describen en la *Tabla 3-27*.

Tabla 3-27: Materiales para la estructura del almacén

Cantidad	Material	Dimensiones
1	Soporte de metal	30mmx50mmx80mm
1	Perfil de aluminio	80mmx42mmx20mm
2	Cuadro de acrílico	210mmx110mmx20mm

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Los planos de la estructura del almacén se muestran en la *Ilustración 3-37* los cuales corresponde a todo el elemento estructural que está colocado junto a la banda.

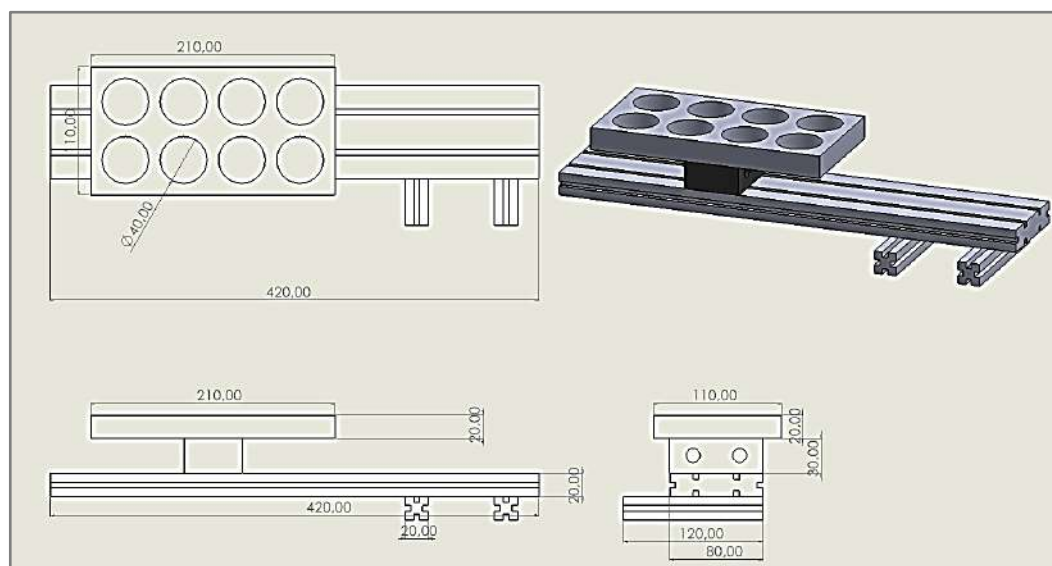


Ilustración 3-37: Plano estructural almacén de componentes neumáticos

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.8.4 Estructura para el tablero de control

Para la colocación de los elementos de control como el PLC y los distintos materiales eléctricos se ha diseñado un tablero de madera acompañado de una estructura metálica como soporte de todo el tablero. Los materiales usados y las dimensiones se describen en la *Tabla 3-28*.

Tabla 3-28: Componentes estructurales del tablero de control

Cantidad	Material	Dimensiones
1	Tablero MDF	700mmx415mmx15mm
2	Soporte de acero	1260mmx60mmx30mm
2	Soporte de acero	620mmx30mmx60mm

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Los planos estructurales del tablero se muestran en la *Ilustración 3-38* en la cual se describen las medidas con las que se ha realizado toda la estructura metálica y el tablero de madera.

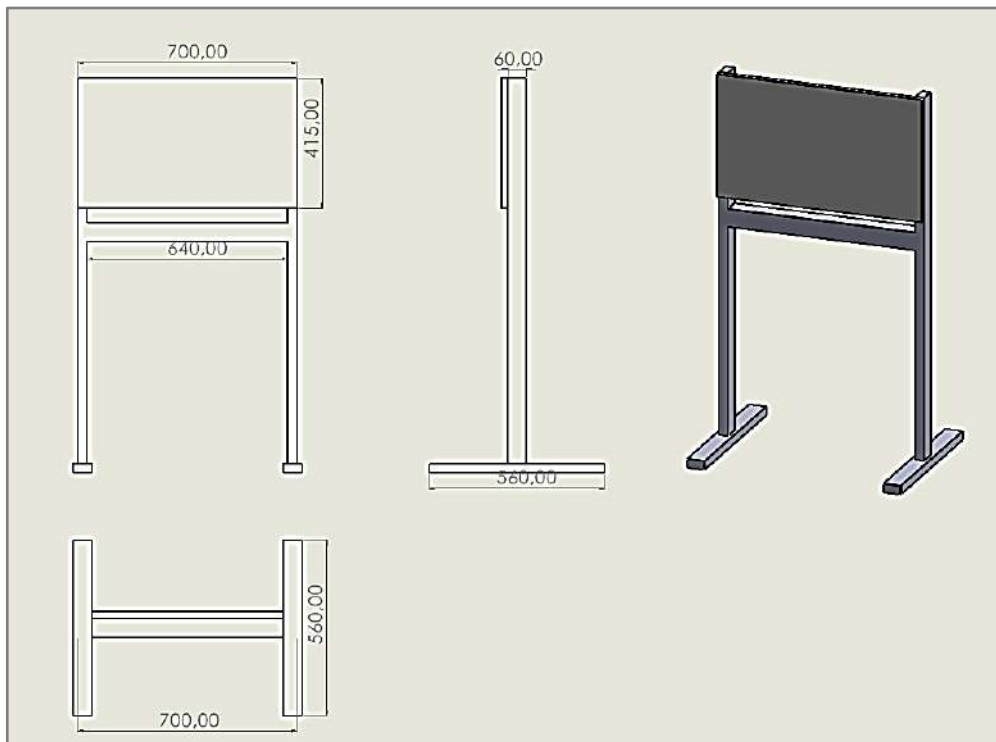


Ilustración 3-38: Plano estructural tablero de control

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.8.5 Pallet

Para poder trasportar la camisa del cilindro se ha diseñado un *pallet* impreso en 3D con material PLA. Los planos estructurales se muestran en la *ilustración 3-39*

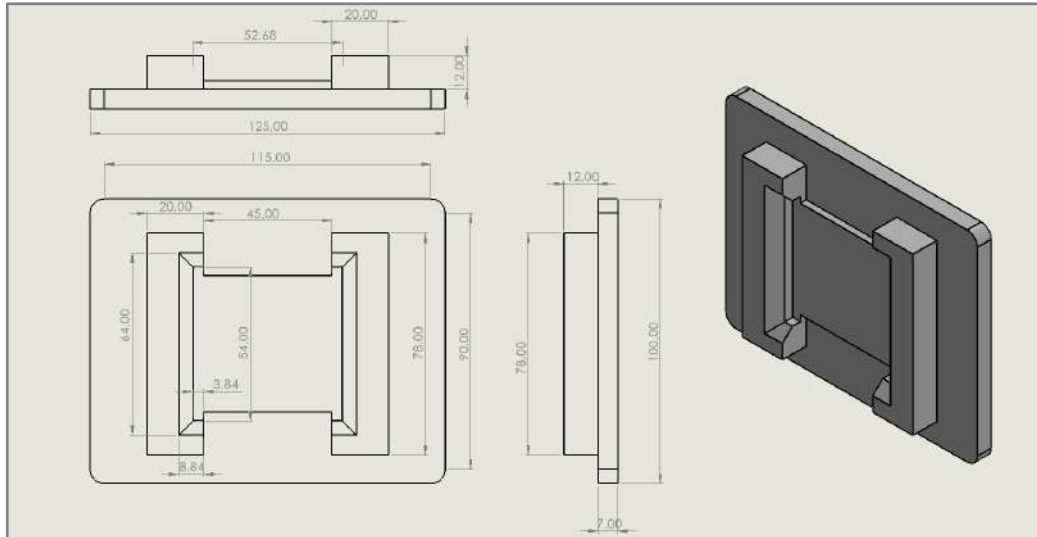


Ilustración 3-39: Plano estructural del *pallet*

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.8.6 Mesa

Para la ubicación de la banda transportadora y todos los componentes de montaje se diseña una mesa rectangular con los materiales descritos en la *Tabla 3-29*.

Tabla 3-29: Componentes estructurales de la mesa

Cantidad	Material	Dimensiones
1	Tablero Melamina	1000mmx950mmx18mm
2	Perfil de acero rectangular	50mmx50mmx500mm
2	Perfil de acero rectangular	50mmx50mmx800mm
2	Perfil de acero rectangular	50mmx50mmx950mm
1	Perfil de acero rectangular	50mmx50mmx900mm

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

Los planos estructurales de la mesa se pueden observar en la *Ilustración 3-40*.

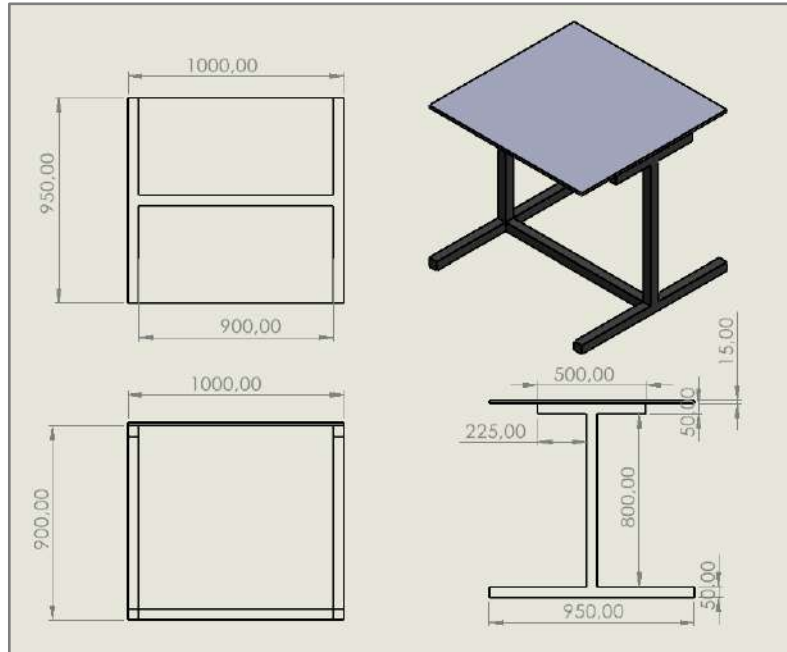


Ilustración 3-40: Planos estructurales mesa

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.8.7 Estructura mecánica del módulo didáctico final

Con la herramienta de Solid Works se realiza la unión de todas las estructuras antes mencionadas para tener la visualización real de todos los componentes estructurales para el módulo didáctico. Se tiene como resultado la estructura presentada en la *Ilustración 3-41*.

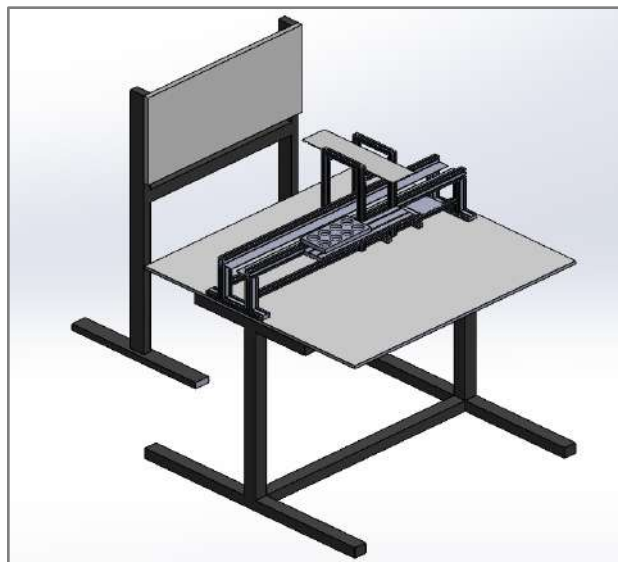


Ilustración 3-41: Diseño 3D del módulo didáctico

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2023.

3.9 Módulo didáctico ensamblado final

En la *Ilustración 3-42* se presenta el módulo didáctico completamente ensamblado, exhibiendo tanto su estructura mecánica como todos los componentes electrónicos meticulosamente seleccionados. Cabe destacar que este proceso ha sido exhaustivamente calibrado, asegurando su correcto funcionamiento y pleno rendimiento.

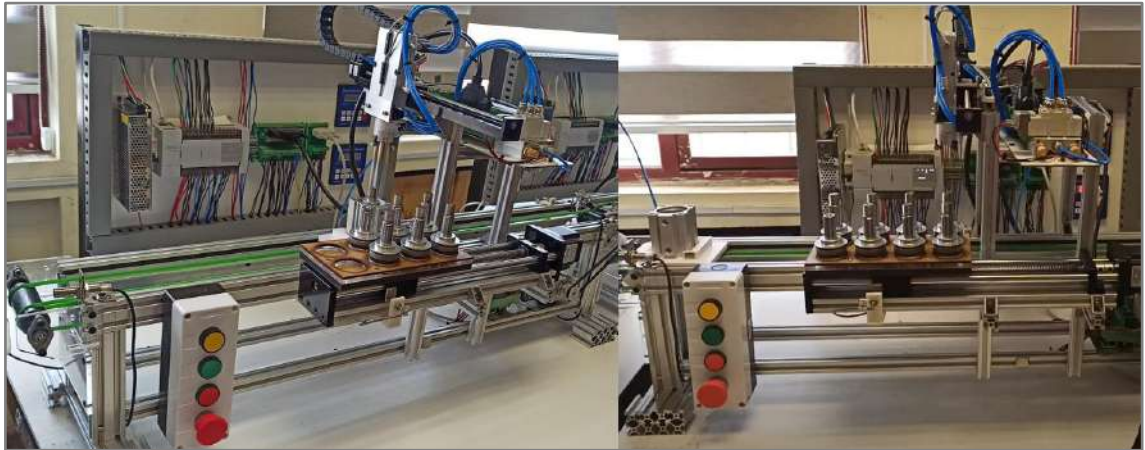


Ilustración 3-42: Vista isométrica y frontal del módulo didáctico implementado

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

CAPÍTULO IV

4. VALIDACIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se realiza la evaluación e interpretación de los resultados del módulo didáctico al realizar pruebas de validación de sensor inductivo, magnético, estabilidad de comunicación del PLC, toma de tiempos de las etapas de proceso de montaje. Además, pruebas de sujeción de los componentes del cilindro y ensamblaje de este.

4.1 Consideraciones generales para evaluar el proyecto.

Se determina un total de 30 muestras para llevar a cabo la validación de los sensores y tiempos de ejecución de las etapas del proyecto para así asegurar un funcionamiento adecuado. La validación se realiza mediante el criterio de normalidad Shapiro-Wilk. El propósito de esta prueba es evaluar un conjunto menor a 50 muestras (Guachalla, 2019).

El error absoluto garantiza la exactitud del modelo evaluado, considerando qué, mientras este valor se acerque al valor real, más exacto será el resultado obtenido. Por consiguiente, el error relativo porcentual (%) evalúa resultados experimentales para indicar calidad, se radica que, si el valor está por debajo del 1% es “muy bueno”, si el valor se encuentra en el rango de 5% al 10% es “aceptable”, mientras que si el valor supera el 10% es “poco confiable” (Santo & Lecumberry, 2005).

Para evaluar la precisión de las muestras se calcula el coeficiente de desviación, considerando que, si CV es menor o igual a 30%, los datos son homogéneos, si el valor CV es mayor o igual a 30% y menor o igual a 70%, los datos son variables o heterogéneos y si CV es superior al 70% los datos son muy variables o heterogéneos (Vargas Franco, 2007).

Se utiliza el *software* SPSS para llevar a cabo el análisis estadístico y la normalización. Este programa, reconocido como una herramienta eficaz, se elige con el propósito de facilitar el proceso, asegurar la precisión de los resultados y respaldar una toma de decisiones apropiadas (IBM, 2022).

4.2 Validación de normalidad por el método *Shapiro-Wilk*.

Se emplea el tiempo en segundos como la variable para determinar la normalidad de los datos en cada una de las etapas del funcionamiento del módulo didáctico. Se realizó este análisis estadístico debido a que se toma un número de muestras menor a 50. Para ello se empleó usar el *software* SPSS en la versión 29.0.2.0

El objetivo es determinar la normalidad en un conjunto de 30 muestras de tiempo tomadas para establecer una coherencia en el proceso. Para la toma de tiempo se ha utilizado un celular “Xiaomi 11T pro” en el cual se procedió a descargar una aplicación en la *play store* llamada “Cronometro pro”.

Etapas de montaje. – En esta parte del proceso se procede a tomar el tiempo que tarda en sujetar los componentes preensamblados y trasladarlos hacia la camisa del cilindro neumático.

En la *Ilustración 4-1* se muestra la evidencia de una de las pruebas realizadas para la etapa de montaje para la prueba de normalización.

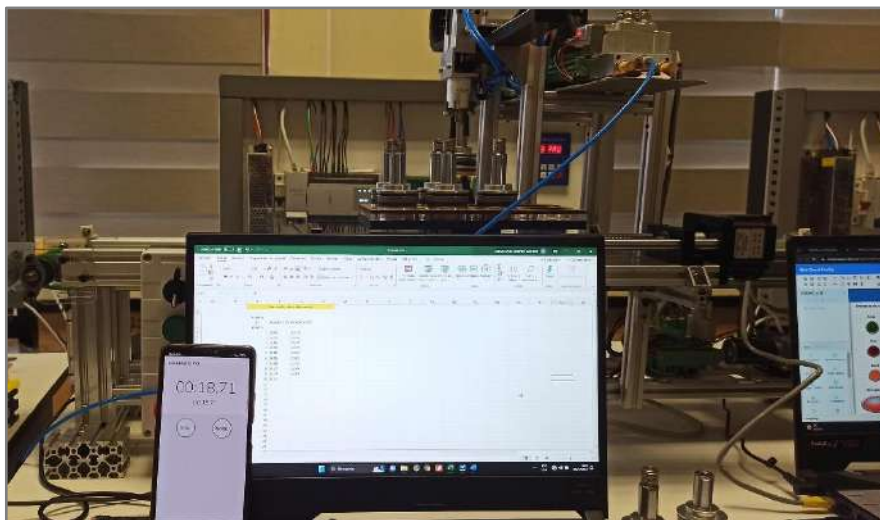


Ilustración 4-1: Evidencia de una de las pruebas realizadas para la etapa de montaje

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

En la *Tabla 4-1* se presentan los tiempos en segundos obtenidos a las distintas muestras y diferentes filas con el fin de ser procesados y determinar si existe normalidad.

Tabla 4-1: Tiempos obtenidos de las dos filas existentes de la mesa para etapa de montaje.

Número de muestra	Fila 1 (s)	Fila 2 (s)
1	18.82	22.83
2	18.78	22.81
3	18.85	22.85
4	18.82	22.83
5	18.80	22.82
6	18.85	22.81
7	18.80	22.85
8	18.83	22.87
9	18.84	22.82
10	18.81	22.85
11	18.88	22.86
12	18.82	22.86
13	18.79	22.88
14	18.85	22.79
15	18.80	22.88
16	18.79	22.83
17	18.81	22.86
18	18.86	22.89
19	18.81	22.83
20	18.83	22.84
21	18.81	22.85
22	18.82	22.82
23	18.80	22.86
24	18.82	22.82
25	18.84	22.86
26	18.80	22.84
27	18.83	22.86
28	18.85	22.83
29	18.82	22.82
30	18.81	22.85

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

Se plantea probar si el tiempo de la etapa de montaje en sus dos filas presentan una distribución normal.

- **Plantear hipótesis**
Ho: los datos tienen una distribución normal.
Ha: los datos no tienen una distribución normal.
- **Nivel de significancia:**
 $\alpha=0.05$.
- **Tipo de prueba:**
Shapiro-Wilk.
- **Criterio de decisión**
Si $p < 0.05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha.
Si $p \geq 0.05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

En la *Tabla 4-2* se muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde se analiza cada una de las filas de manera independiente.

Tabla 4-2: Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para tiempos de etapa de montaje

Variable	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Fila 1	0.961	30	0.322
Fila 2	0.970	30	0.541

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-2* se obtiene para la fila 1 y 2 una significancia de 0.322; 0.541 respectivamente, con 30 grados de libertad o muestras. Se determina que los valores de significancia son mayores a 0.05 por ende, se rechaza la hipótesis alternativa y se opta por la hipótesis nula, es decir que los datos tienen una distribución normal.

Etapa de transporte. - Para esta etapa se procede a tomar muestras del tiempo que tarda en trasladar el *pallet* junto con la camisa del cilindro neumático desde el inicio hasta el final de la banda. Para esto se utilizan los mismos dispositivos mencionados anteriormente.

En la *Ilustración 4-2* se muestra la evidencia de una de las pruebas realizadas en la etapa de transporte.

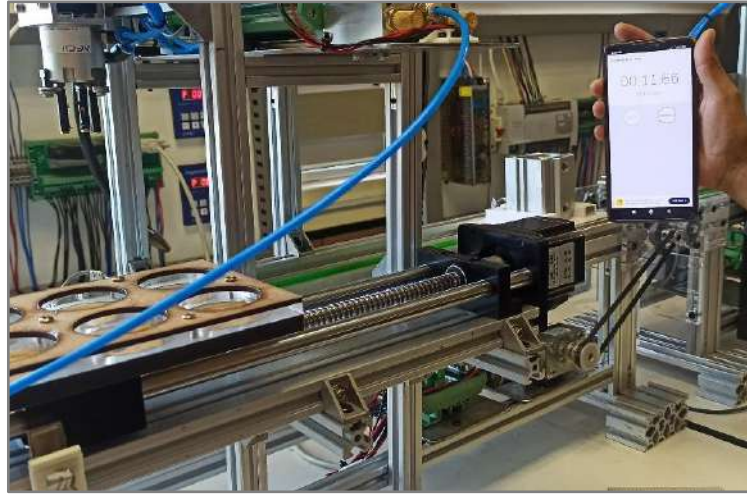


Ilustración 4-2: Evidencia de una de las pruebas realizadas en la etapa de transporte

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

En la *Tabla 4-3* se presentan los tiempos tomados en segundos para la etapa de transporte del pallet de inicio a final de la banda para determinar si existe normalidad.

Tabla 4-3: Tiempos obtenidos a través del transporte del pallet del inicio al final de la banda.

Número de muestra	Tiempo (s)
1	11.63
2	11.64
3	11.60
4	11.66
5	11.65
6	11.67
7	11.67
8	11.68
9	11.62
10	11.67
11	11.63
12	11.65
13	11.61
14	11.62
15	11.64
16	11.62
17	11.64
18	11.65

Número de muestra	Tiempo (s)
19	11.63
20	11.63
21	11.64
22	11.66
23	11.61
24	11.68
25	11.67
26	11.64
27	11.67
28	11.62
29	11.66
30	11.56

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

Se plantea probar si el tiempo de la etapa de transporte presenta una distribución normal.

- **Plantear hipótesis**

Ho: los datos tienen una distribución normal.

Ha: los datos no tienen una distribución normal.

- **Nivel de significancia:**

$\alpha=0.05$.

- **Tipo de prueba:**

Shapiro-Wilk.

- **Criterio de decisión**

Si $p < 0.05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha.

Si $p \geq 0.05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

En la *Tabla 4-4* se muestra la prueba de normalidad para el tiempo de la etapa de transporte.

Tabla 4-4: Prueba de normalización de Shapiro-Wilk para tiempos de etapa de transporte.

Variable	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Tiempo	0.939	30	0.085

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-4* se tiene la variable tiempo donde muestran como grados de libertad o también llamado número de muestras un total de 30. Para su significancia se tiene un valor de 0.085, por

el cual, se concluye que en vista que dicho valor es superior a 0.05 se rechaza la hipótesis alternativa y se opta por la hipótesis nula, es decir que los datos tienen una distribución normal.

Almacén. – En esta sección se ha establecido la toma de tiempos a las diferentes posiciones de la mesa deslizante del almacén en función a las columnas disponibles y su retorno, para ellos se utilizaron los mismos dispositivos mencionados anteriormente.

En la *Ilustración 4-3* se muestra la evidencia de una de las pruebas realizadas para la mesa deslizante del almacén.



Ilustración 4-3: Evidencia de una de las pruebas realizadas para la mesa deslizante del almacén

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

En la *Tabla 4-5* se muestra los tiempos tomados en segundos para las diferentes columnas de la mesa deslizante y el retorno a su punto inicial para determinar si existe una normalidad en los datos presentados.

Tabla 4-5: Tiempos obtenidos por cada columna de la mesa deslizante del almacén.

Número de muestra	Columna 1 (s)	Columna 2 (s)	Columna 3 (s)	Retorno (s)
1	1.15	1.12	1.15	3.08
2	1.10	1.12	1.10	3.06
3	1.12	1.16	1.08	2.98
4	1.15	1.11	1.10	3.02
5	1.02	1.13	1.08	3.07
6	1.11	1.17	1.10	3.02
7	1.10	1.15	1.07	3.03
8	1.11	1.16	1.10	2.99
9	1.17	1.15	1.09	3.03
10	1.17	1.07	1.13	3.03
11	1.08	1.17	1.11	3.05
12	1.09	1.16	1.05	3.06
13	1.10	1.14	1.16	3.08
14	1.09	1.07	1.06	3.06
15	1.11	1.08	1.08	3.00
16	1.10	1.08	1.06	3.01
17	1.07	1.10	1.11	3.01
18	1.07	1.11	1.09	3.04
19	1.08	1.11	1.07	3.00
20	1.03	1.14	1.08	3.05
21	1.07	1.05	1.13	3.07
22	1.08	1.10	1.11	3.04
23	1.11	1.15	1.08	3.08
24	1.12	1.18	1.15	3.08
25	1.13	1.16	1.08	3.04
26	1.04	1.09	1.04	3.07
27	1.17	1.08	1.09	3.01
28	1.14	1.12	1.08	3.08
29	1.05	1.10	1.12	3.01
30	1.14	1.18	1.09	3.05

Realizado por: Maspu A, Yanchaluisa S, 2024.

Se plantea probar si el tiempo de la mesa deslizante en sus tres columnas y retorno presentan una distribución normal.

- **Plantear hipótesis**

Ho: los datos tienen una distribución normal.

Ha: los datos no tienen una distribución normal.

- **Nivel de significancia:**

$\alpha=0.05$.

- **Tipo de prueba:**

Shapiro-Wilk.

- **Criterio de decisión**

Si $p < 0.05$ rechazamos la H_0 y acepto la H_a .

Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

En la *Tabla 4-6* se muestra la prueba de normalidad para la sección de almacén analizando en tiempo de desplazamiento de cada columna y el tiempo de retorno a su posición inicial.

Tabla 4-6: Prueba de normalización de Shapiro-Wilk para tiempos de desplazamiento de almacén.

Variable	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Columna 1	0.972	30	0.608
Columna 2	0.955	30	0.232
Columna 3	0.958	30	0.282
Retorno	0.940	30	0.090

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-6* se obtiene las significancias de 0.608; 0.232; 0.282; 0.090 para la columna 1,2,3 y retorno respectivamente. Dado que dichos valores son mayores a 0.05 se establece que, se rechaza la hipótesis alternativa y se opta por la hipótesis nula, es decir que los datos tienen una distribución normal.

Ensamblaje total. – Finalmente se realiza una serie de muestras del tiempo que se tardará el proceso en ensamblar los componentes desde el inicio hasta el final de la banda considerando nuevamente las filas que tiene la mesa deslizante del almacén.

En la *Ilustración 4-4* Evidencia de validación de una de las pruebas para tiempos para el ensamblaje total del proceso.

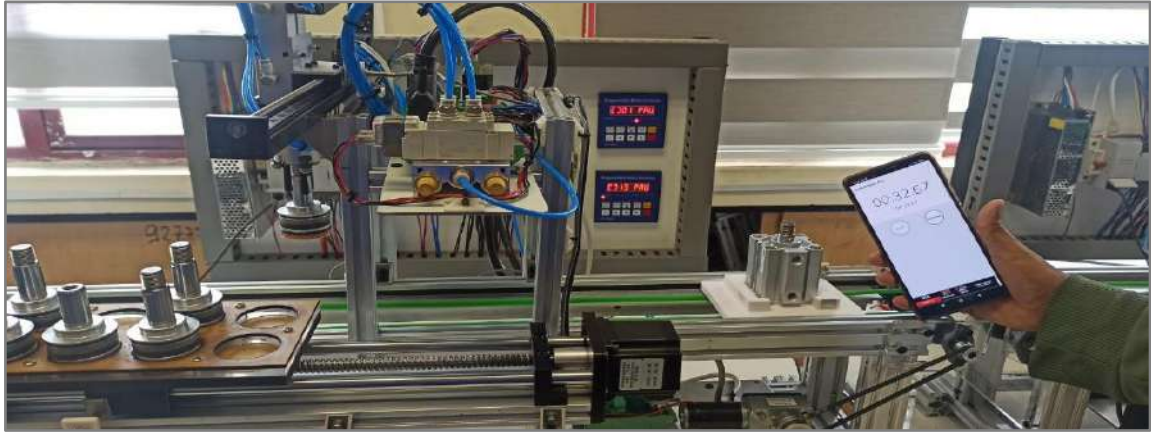


Ilustración 4-4: Evidencia de validación de una de las pruebas para el ensamblaje total

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

En la *Tabla 4-7* se muestran los tiempos totales de ensamblaje considerando cada fila del almacén, para determinar si existe una normalidad en los datos presentados.

Tabla 4-7: Tiempos totales obtenidos del ensamblaje total considerando cada fila del almacén.

Número de muestra	Fila 1 (s)	Fila 2 (s)
1	32.61	36.44
2	32.62	36.46
3	32.61	36.48
4	32.64	36.44
5	32.61	36.47
6	32.62	36.42
7	32.64	36.47
8	32.64	36.45
9	32.63	36.46
10	32.67	36.43
11	32.64	36.49
12	32.68	36.43
13	32.66	36.46
14	32.66	36.44
15	32.65	36.44
16	32.64	36.43
17	32.62	36.48
18	32.64	36.49
19	32.63	36.45
20	32.66	36.46
21	32.66	36.40

Número de muestra	Fila 1 (s)	Fila 2 (s)
22	32.62	36.42
23	32.66	36.44
24	32.63	36.41
25	32.65	36.42
26	32.64	36.45
27	32.64	36.43
28	32.65	36.42
29	32.62	36.44
30	32.63	36.40

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

Se plantea probar si el tiempo total de ensamblaje para las dos filas de la mesa deslizante presentan una distribución normal.

- **Plantear hipótesis:**

Ho: los datos tienen una distribución normal.

Ha: los datos no tienen una distribución normal.

- **Nivel de significancia:**

$\alpha=0.05$.

- **Tipo de prueba:**

Shapiro-Wilk.

- **Criterio de decisión**

Si $p < 0.05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha.

Si $p \geq 0.05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

En la *Tabla 4-8* se muestra la prueba de normalidad donde se analiza los tiempos que tarda el módulo didáctico en montar los componentes del cilindro sea de la fila 1 o fila 2.

Tabla 4-8: Prueba de normalización de Shapiro-Wilk para tiempos de ensamblaje total.

Variable	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Fila 1	0.953	30	0.200
Fila 2	0.967	30	0.470

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-7* se obtienen resultados de significancia de 0.200; 0.470 para las filas 1 y 2 respectivamente. Dado que dichos valores son mayores a 0.05 se concluye que, se rechaza la

hipótesis alternativa y se opta por la hipótesis nula, es decir que los datos tienen una distribución normal.

4.3 Validación de sensor inductivo

El objetivo es medir las distancias de detección para determinar si existe error más allá del cual se encuentran detallados en la hoja de datos correspondientes al Anexo F.

Para la recopilación de muestras se utiliza un calibrador digital de marca Caliper para establecer una distancia exacta entre el sensor y el objeto metálico a ser detectado. Para ello se toman 30 muestras a diferentes distancias establecidas por el fabricante.

En la *Ilustración 4-1* se muestra la evidencia para el desarrollo de la prueba de validación del sensor LJ6A3-1-P1.



Ilustración 4-5: Evidencia de la validación del sensor inductivo

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

En la *Tabla 4-1* se presenta los datos obtenidos a diferentes distancias, donde se puso como muestra patrón 1, lo que significa que está detectando presencia, en distancias de 0.8-1 mm que es lo que proporciona el fabricante. También se presentan los valores del error absoluto y relativo de dichos datos analizados.

Tabla 4-9: Datos obtenidos a diferentes distancias de detección para validación del sensor inductivo.

Número de muestra	Muestra patrón del sensor (0,8-1 mm)	Muestras para validación del sensor (mm)				Error absoluto				Error Relativo %			
		0,7	0,8	1	1,2	0,7	0,8	1	1,2	0,7	0,8	1	1,2
1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
4	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
5	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
6	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
7	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
8	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
10	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
11	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
12	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
13	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
14	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
15	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
16	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
17	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
18	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
19	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
20	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
21	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
22	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
23	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
24	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
25	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
26	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
27	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
28	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
29	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
30	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
		Promedio				0	0	0.07	0.93	0.00%	0.00%	6.67%	93.33%

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

En la *Tabla 4-1* se determinó el error absoluto con valores de 0; 0.07; 0.93 todos los valores excepto el 0.93 son valores menores al 10% que es el error que proporciona el fabricante, por otra parte, tenemos al error relativo el cual proporciona valores de 0%; 6.67%; 93.33%, para ello los

valores de 0% son considerados como “muy bueno”, 6.67% “aceptable” y el 93,33% es “poco confiable” ya que supera el 10% establecido según (Santo & Lecumberry, 2005). En conclusión, se valida el sensor en las medidas de 0,7-1mm para obtener detecciones aceptables.

En la *Tabla 4-1* se determinó el error absoluto con valores de 0; 0.07; 0.93 todos los valores excepto el 0.93 son valores menores al 10% que es el error que proporciona el fabricante, por otra parte, tenemos al error relativo el cual proporciona valores de 0%; 6.67%; 93.33%, para ello los valores de 0% son considerados como “muy bueno”, 6.67% “aceptable” y el 93,33% es “poco confiable” ya que supera el 10% establecido según (Santo & Lecumberry, 2005). En conclusión, se valida el sensor en las medidas de 0,7-1mm para obtener detecciones aceptables.

Se plantea probar si el sensor tiene medidas correctas de funcionamiento es decir igual a 1 en todas las muestras y medidas.

- **Plantear hipótesis**

Ho: La lectura de la medida es igual a 1.

Ha: La lectura de la medida es diferente de 1.

- **Nivel de significancia:**

$\alpha=0.05$.

- **Tipo de prueba:**

T-Student

- **Criterio de decisión**

Si $p < 0.05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha.

Si $p \geq 0.05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

Tabla 4-10: Valores estadísticos de la activación de sensor inductivo.

Estadísticas para una muestra				
Medida (mm)	N	Media	Desv. estándar	Media de error estándar
0.7	30	1.00	0	0.000
0.8	30	1.00	0	0.000
1	30	0.93	0.254	0.046
1.2	30	0.07	0.254	0.046

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-10* se obtienen una media de 1 para valores de 0.7 y 0.8 lo que indica que los valores de medida en sus 30 muestras son todos correctos, para las medidas de 1 y 1.2 tenemos resultados de 0.93 y 0.07 por lo que se procede hacer un análisis de T-Student.

Tabla 4-11: Resultados de T-Student para lecturas de sensor inductivo.

Prueba para una muestra							
Medida (mm)	Valor de prueba = 1						
	t	gl	Significación		Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			P de un factor	P de dos factores		Inferior	Superior
1	-1.439	29	0.080	0.161	-0.067	-0.16	0.03
1.2	-20.149	29	0.000	0.000	-0.933	-1.03	-0.84

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-11* se realiza un análisis estadístico para las medidas de 1 y 1.2 donde se obtienen valores de significancia de 0.08 y 0.000. Por ello para el valor de 0.08, se rechaza la hipótesis alternativa y se opta por la hipótesis nula, es decir que el sensor tiene una lectura correcta para esa medida.

4.4 Validación de sensor magnético

El objetivo es verificar si el sensor magnético D-Z73 no presenta error en la lectura de medición en rangos que son establecidos por el fabricante, los cuales se encuentra detallados en la hoja de datos correspondientes al Anexo G.

Para la toma de muestras se utiliza un imán de neodimio y una regla de marca CARIOCA para establecer distancia entre el sensor y el imán, para el cual se tomaron 30 muestras a un rango establecido por el fabricante.

En la *Ilustración 4-6* se muestra la evidencia para el desarrollo de la prueba de validación del sensor D-Z73.



Ilustración 4-6: Evidencia de validación de sensor magnético

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

En la *Tabla 4-12* se muestra como muestra patrón 1, en el rango de 7-16 mm el cual proporciona el fabricante. También se presentan los valores del error absoluto dichos datos analizados.

Tabla 4-12: Datos obtenidos de lectura del sensor magnético D-Z73 para su validación.

Número de muestra	Muestra patrón del sensor (7-16 mm)	Muestras para validación del sensor (mm)				Error absoluto			
		7	9	12	16	7	9	12	16
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	0	0	0	0
3	1	1	1	1	1	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	0	0	0	0
9	1	1	1	1	1	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	0	0	0	0
11	1	1	1	1	1	0	0	0	0
12	1	1	1	1	1	0	0	0	0
13	1	1	1	1	1	0	0	0	0
14	1	1	1	1	1	0	0	0	0
15	1	1	1	1	1	0	0	0	0
16	1	1	1	1	1	0	0	0	0
17	1	1	1	1	1	0	0	0	0
18	1	1	1	1	1	0	0	0	0
19	1	1	1	1	1	0	0	0	0
20	1	1	1	1	1	0	0	0	0
21	1	1	1	1	1	0	0	0	0
22	1	1	1	1	1	0	0	0	0

23	1	1	1	1	1	0	0	0	0
24	1	1	1	1	1	0	0	0	0
25	1	1	1	1	1	0	0	0	0
26	1	1	1	1	1	0	0	0	0
27	1	1	1	1	1	0	0	0	0
28	1	1	1	1	1	0	0	0	0
29	1	1	1	1	1	0	0	0	0
30	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Total						0%	0%	0%	0%

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

En la *Tabla 4-12* se obtiene un valor de error absoluto de 0,00 para todo el rango de distancias establecidas en función de su muestra patrón. Por ello se puede determinar que el sensor magnético cumple de manera exitosa con las especificaciones del fabricante y los datos medidos.

Tabla 4-13: Valores estadísticos de la activación del sensor magnético

Estadísticas para una muestra				
Medida (mm)	N	Media	Desv. estándar	Media de error estándar
7	30	1.00	0	0.000
9	30	1.00	0	0.000
12	30	1.00	0	0.000
16	30	1.00	0	0.000

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-13* se obtienen una media de 1 para todas las medidas de prueba del sensor por lo que representa una lectura correcta y no es necesario realizar un T-Student ya que sus desviaciones estándar tienen resultados de 0.

4.5 Validación de montaje de componentes del cilindro neumático

Luego de haber realizado la calibración de todos los sensores y el posicionamiento del sistema de montaje se divide en tres grupos de pruebas para validar hasta cuantos cilindros neumáticos el sistema es capaz de montar sin presentar errores. Para tener un correcto montaje se determina que la distancia en la que el *pallet* tiene que detenerse en la banda es a 50.8 cm siendo estos medidos desde el inicio de la estructura de la banda transportadora como se observa en la *Ilustración 4-7*.

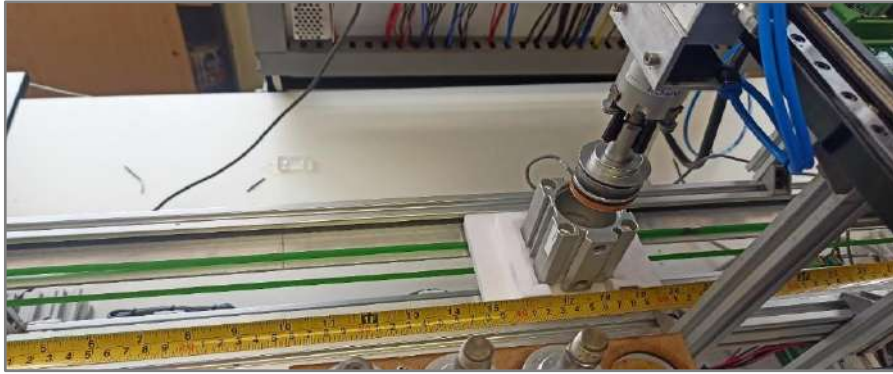


Ilustración 4-7: Muestra de medición de paro en la posición de montaje

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

En el primer grupo se evalúa el sistema montando diez cilindros neumáticos. Los datos obtenidos en esta prueba se observan en la *Tabla 4-14*.

Tabla 4-14: Datos obtenidos con diez muestras de distancia y montaje.

Número de muestra	Distancia cm	Ensamblaje		Error absoluto	Error relativo
		Correcto	Incorrecto		
1	50.8	x		0	0.00%
2	50.8	x		0	0.00%
3	50.8	x		0	0.00%
4	50.8	x		0	0.00%
5	50.8	x		0	0.00%
6	50.8	x		0	0.00%
7	50.8	x		0	0.00%
8	50.8	x		0	0.00%
9	50.8	x		0	0.00%
10	50.8	x		0	0.00%
Promedio	50.8			0	0.00%
Desviación estándar	7.10543E-15				
Coefficiente de variación	0.00%				

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

Con el análisis de los resultados obtenidos y observando que no existe ningún error ya sea absoluto o relativo se determina que para diez cilindros el sistema no presenta ninguna inconsistencia. Además, con un coeficiente de variación de 0.00% se determina que las muestras tomadas son homogéneas.

Se plantea probar si las distancias de ensamblaje presentan una distribución normal.

- **Plantear hipótesis**

Ho: los datos tienen una distribución normal.

Ha: los datos no tienen una distribución normal.

- **Nivel de significancia:**

$\alpha=0.05$.

- **Tipo de prueba:**

Shapiro-Wilk.

- **Criterio de decisión**

Si $p < 0.05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha.

Si $p \geq 0.05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

Tabla 4-15: Prueba de normalización para validar distancias de ensamblaje.

Variable	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Distancia	0.911	10	0.288

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-15* se tiene para su significancia se tiene un valor de 0.288, por el cual, se concluye que en vista que dicho valor es superior a 0.05 se rechaza la hipótesis alternativa y se opta por la hipótesis nula, es decir que los datos tienen una distribución normal.

En el segundo grupo se realiza una recalibración de todos los sensores para poner así en marcha al sistema. El número de pruebas realizadas fueron veinte, así como se observa en la *Tabla 4-16*.

Tabla 4-16: Datos obtenidos con veinte muestras de distancia y ensamblaje.

Número de muestra	Distancia cm	Ensamblaje		Error absoluto	Error relativo
		Correcto	Incorrecto		
1	50.8	x		0	0.00%
2	50.8	x		0	0.00%
3	50.8	x		0	0.00%
4	50.8	x		0	0.00%
5	50.8	x		0	0.00%
6	50.8	x		0	0.00%
7	50.8	x		0	0.00%
8	50.8	x		0	0.00%
9	50.8	x		0	0.00%
10	50.8	x		0	0.00%
11	50.8	x		0	0.00%

12	50.8	x		0	0.00%
13	50.8	x		0	0.00%
14	50.8	x		0	0.00%
15	50.8	x		0	0.00%
16	50.8	x		0	0.00%
17	50.8	x		0	0.00%
18	50.8	x		0	0.00%
19	50.8	x		0	0.00%
20	50.8	x		0	0.00%
Promedio	50.8			0	0.00%
Desviación estándar	1.458E-14				
Coefficiente de variación	0.00%				

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

Con las pruebas realizadas se observa un resultado de un cien por ciento de cilindros ensamblados llegando a la conclusión que el sistema es capaz de ensamblar veinte cilindros de forma continua sin ningún error ya que el coeficiente de variación es de 0.00%.

Se plantea probar si las distancias de ensamblaje presentan una distribución normal.

1. Plantear hipótesis

Ho: los datos tienen una distribución normal.

Ha: los datos no tienen una distribución normal.

2. Nivel de significancia:

$\alpha=0.05$.

3. Tipo de prueba:

Shapiro-Wilk.

4. Criterio de decisión

Si $p < 0.05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha.

Si $p \geq 0.05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

Tabla 4-17: Prueba de normalización para validar distancias de ensamblaje a 20 muestras.

Variable	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Distancia	0.911	10	0.288

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-17* se tiene la variable distancia donde muestran como grados de libertad o también llamado número de muestras un total de 10. Para su significancia se tiene un valor de 0.288, por

el cual, se concluye que en vista que dicho valor es superior a 0.05 se rechaza la hipótesis alternativa y se opta por la hipótesis nula, es decir que los datos tienen una distribución normal.

Para el tercer análisis el sistema fue puesto a prueba ensamblando treinta cilindros en donde los datos recolectados se observan en la *Tabla 4-18*.

Tabla 4-18: Datos obtenidos con treinta muestras de distancias y ensamblaje.

Número de muestra	Distancia cm	Ensamblaje		Error absoluto	Error relativo
		Correcto	Incorrecto		
1	50.8	x		0	0.00%
2	50.8	x		0	0.00%
3	50.8	x		0	0.00%
4	50.8	x		0	0.00%
5	50.8	x		0	0.00%
6	50.8	x		0	0.00%
7	50.8	x		0	0.00%
8	50.8	x		0	0.00%
9	50.8	x		0	0.00%
10	50.8	x		0	0.00%
11	50.8	x		0	0.00%
12	50.8	x		0	0.00%
13	50.8	x		0	0.00%
14	50.8	x		0	0.00%
15	50.8	x		0	0.00%
16	50.8	x		0	0.00%
17					
17	50.8	x		0	0.00%
18	50.8	x		0	0.00%
19	50.8	x		0	0.00%
20	50.8	x		0	0.00%
21	50.8	x		0	0.00%
22	50.9		x	0.1	0.20%
23	50.8	x		0	0.00%
24	50.9		x	0.1	0.20%
25	50.8	x		0	0.00%
26	50.8	x		0	0.00%
27	50.8	x		0	0.00%
28	50.8	x		0	0.00%
29	50.7		x	0.1	0.20%
30	50.8	x		0	0.00%

Desviación estándar	0.031984191
Coefficiente de variación	0.063%

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

Analizando estos resultados se observa que a partir de la prueba numero 22 comienzan a aparecer errores en sistema siendo el error principal el desplazamiento del *pallet* lo cual hace que el sistema tenga un rozamiento de los compontes que son montados. Se observa que existe un error absoluto de 0.01, un error relativo de 0.02% y un coeficiente de variación de 0.063% esto determina que las muestras son homogéneas estando dentro del rango de 0% al 30% de CV.

Se plantea probar si las distancias de ensamblaje presentan una distribución normal.

1. Plantear hipótesis

Ho: los datos tienen una distribución normal.

Ha: los datos no tienen una distribución normal.

2. Nivel de significancia:

$\alpha=0.05$.

3. Tipo de prueba:

Shapiro-Wilk.

4. Criterio de decisión

Si $p < 0.05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha.

Si $p \geq 0.05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

Tabla 4-19: Prueba de normalización para validar distancias de ensamblaje a 30 muestras.

Variable	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Tiempo	0.164	30	0.073

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-19* se tiene la variable distancia donde muestran como grados de libertad o también llamado número de muestras un total de 30. Para su significancia se tiene un valor de 0.073, por el cual, se concluye que en vista que dicho valor es superior a 0.05 se rechaza la hipótesis alternativa y se opta por la hipótesis nula, es decir que los datos tienen una distribución normal.

Debido a que existe un desplazamiento del *pallet* en la prueba realizada anteriormente se propuso colocar una tela esmeril Lixa ferro K246 número 30, así como se muestra en la *Ilustración 4-8*.



Ilustración 4-8: *Pallet* con tela esmeril

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

Con esta mejora en el *pallet* se realizaron nuevamente las 30 pruebas de distancia y ensamblaje, dando como resultado los datos obtenidos en la *Tabla 4-20*.

Tabla 4-20: Datos obtenidos con el *pallet* mejorado para treinta muestras de distancia y ensamblaje.

Número de muestra	Distancia cm	Ensamblaje		Error absoluto	Error relativo
		Correcto	Incorrecto		
1	50.8	x		0	0.00%
2	50.8	x		0	0.00%
3	50.8	x		0	0.00%
4	50.8	x		0	0.00%
5	50.8	x		0	0.00%
6	50.8	x		0	0.00%
7	50.8	x		0	0.00%
8	50.8	x		0	0.00%
9	50.8	x		0	0.00%
10	50.8	x		0	0.00%
11	50.8	x		0	0.00%
12	50.8	x		0	0.00%
13	50.8	x		0	0.00%
14	50.8	x		0	0.00%
15	50.8	x		0	0.00%
16	50.8	x		0	0.00%
17	50.8	x		0	0.00%
18	50.8	x		0	0.00%
19	50.8	x		0	0.00%
20	50.8	x		0	0.00%
21	50.8	x		0	0.00%
22	50.8	x		0	0.00%
23	50.8	x		0	0.00%

24	50.8	x		0	0.00%
25	50.8	x		0	0.00%
26	50.8	x		0	0.00%
27	50.8	x		0	0.00%
28	50.8	x		0	0.00%
29	50.8	x		0	0.00%
30	50.8	x		0	0.00%
Promedio	50.80			0	0.00%
Desviación estándar	2.16807E-14				
Coefficiente de variación	0.00%				

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

Al mejorar la adherencia se muestra que ya no existen errores de desplazamiento del pallet en la banda y a diferencia de las anteriores pruebas realizada ya no se observa error absoluto ni relativo además se observa un coeficiente de variación del 0.00% con distancias homogéneas lo que valida que el sistema de montaje puede ensamblar 30 cilindros sin ningún error.

Se plantea probar si las distancias de ensamblaje presentan una distribución normal.

1. Plantear hipótesis

Ho: los datos tienen una distribución normal.

Ha: Los datos no tienen una distribución normal.

2. Nivel de significancia:

$\alpha=0.05$.

3. Tipo de prueba:

Shapiro-Wilk.

4. Criterio de decisión

Si $p < 0.05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha.

Si $p \geq 0.05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

Tabla 4-21: Prueba de normalización para validar distancias de ensamblaje a 30 muestras.

Variable	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Tiempo	0.911	10	0.288

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-21* se tiene la variable tiempo donde muestran como grados de libertad o también llamado número de muestras un total de 10. Para su significancia se tiene un valor de 0.288, por el cual, se concluye que en vista que dicho valor es superior a 0.05 se rechaza la hipótesis alternativa y se opta por la hipótesis nula, es decir que los datos tienen una distribución normal.

4.6 Pruebas de consumo eléctrico a plena carga

El objetivo es verificar que tipo de consumo energético tiene el módulo, para ello hay que considerar los dispositivos conectados a 120 V AC y su respectiva potencia teórica como se observa en la *Tabla 4-22*.

Tabla 4-22: Dispositivos conectados a 120 V AC.

Descripción	Potencia teórica (W)
PLC Wecon Lx5s-1616MR	30
Fuente conmutada 24V	120
Total	150

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-22* se determina una potencia teórica total de 150 W de los dispositivos que están conectados a 120 V AC, dicho valor es utilizando en la ecuación (2).

$$e = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia teórica}} \times 100 \quad (2)$$

Para realizar el cálculo del consumo energético hay determinar la potencia útil cuando el dispositivo está en funcionamiento para ello se mide el voltaje y corriente, se utilizó una pinza amperimétrica digital KT-87N como equipo patrón.

En la *Ilustración 4-9* se muestra la evidencia de la medición de corriente total.



Ilustración 4-9: Evidencia de la medición de corriente total

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

En la *Tabla 4-23* se muestran las mediciones de voltaje, corriente y el cálculo de la potencia útil.

Tabla 4-23: Mediciones de voltaje, corriente y el cálculo de la potencia útil.

Descripción	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia útil (W)
PLC Wecon Lx5s-1616MR	119	0.11	13.09
Fuente conmutada 24V	119	0.35	41.65
Total			54.74

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la tabla anterior se muestra una potencia total útil de 54.74 W. Una vez obtenido este valor se procede a calcular la eficiencia el cual viene determinado por la ecuación (2).

Donde:

e = eficiencia

Potencia teórica=150 W.

Potencia útil = 54.74 W.

Teniendo como resultado una eficiencia de 36.49% lo que indica que el consumo eléctrico es bajo según (Guide for the Efficient Use of Electric Power in Ecuador, 2020, pág. 40).

4.7 Análisis comparativo del consumo eléctrico

Para comparar los valores obtenidos en el apartado anterior, se realiza la medición de corriente alterna al módulo comercial SMC IPC 201 que se encuentra en el laboratorio de mandos neumáticos de la FIE. En la *Ilustración 4-10* se muestra la evidencia de medición de corriente alterna del módulo.



Ilustración 4-10: Medición de corriente AC del módulo IPC 201

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

A partir de la corriente obtenida se procede a calcular la potencia, multiplicando la corriente con el voltaje de funcionamiento en este caso 120 V AC. Al tener estos datos se plantea una comparativa entre corrientes y potencias, así como se observa en la *Tabla 4-17*.

Tabla 4-24: Comparativa de corrientes, potencia de un módulo comercial y el módulo didáctico implementado.

Módulo	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
SMC IPC 201	120 V	0.89	106.8
Didáctico implementado	120 V	0.46	54.74

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

De la *Tabla 4-24* se obtuvo que el módulo didáctico implementado es 51.69% menor en lo que corresponde a corriente y potencia, considerando que el módulo comercial contiene dispositivos de diferentes marcas y todos se ponen en funcionamiento al mismo tiempo. Con esto se determina que el módulo implementado en el presente proyecto no tiene un alto consumo de corriente en comparación al módulo SMC IPC 201.

4.8 Costos de implementación del módulo didáctico

En la *Tabla 4-25* se describe el costo de los componentes neumáticos, electrónicos y estructurales integrados en el módulo didáctico, obteniendo un precio total de 1440 \$.

Tabla 4-25: Costo de componentes para el módulo didáctico

Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Subtotal (\$)
PLC WECON 1616MR	1	280	280
Controlador ST-PMC1	2	75	150
Sensores inductivos	5	5	25
Sensores magnéticos	2	4	8
Drivers TB6600	2	27	54
Cilindro neumático	1	20	20
Pinza neumática	1	80	80
Electroválvula	2	35	70
Motores	1	30	265
Material eléctrico	1	20	78
Material estructural	1	250	250
Mesa	1	100	100
Tablero	1	60	60
Total			1440

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

Con el análisis de la *Tabla 4-25* se determina que, el PLC corresponde a un costo del 19.44%, motores 18.40%, material estructural 17.36%, y el conjunto de los demás componentes un 44.80%. Con esto se concluye que el componente con el mayor costo dentro del proyecto es el PLC WECON 1616MR siendo este el cerebro de todo el sistema.

4.9 Análisis comparativo del módulo implementado y el módulo SMC FMS 202

La operación principal del módulo comercial SMC FMS 202 es colocar un rodamiento en un *pallet* que tiene un orificio de alojamiento para esta pieza, para efectuar esta operación se dispone de tres actuadores neumáticos un lineal, uno de giro y una pinza de sujeción de dos dedos, donde estos elementos son los encargados de insertar los rodamientos que se encuentran almacenados en un tubo dispensador por gravedad, el módulo se puede observar en la *Ilustración 4-11*.



Ilustración 4-11: Módulo SMC FMS 202

Fuente: SMC, 2020

En la *Tabla 4-26* se presenta una comparativa de funcionamiento, componentes y características, entre el módulo implementado y un módulo comercial FMS 202 SMC.

Tabla 4-26: Comparativa entre el módulo implementado y el módulo comercial FMS 202 SMC.

Características	Módulo implementado	FMS 202 SMC
Uso	Didáctico	Didáctico
Función Principal	Montaje de cilindros neumáticos	Inserción de rodamientos
Piezas para ensamblar	Embolo, vástago, tapa	Rodamientos de bolas metálicos
Dimensiones (cm)	100 x 95 x 90	90 x 54 x 90
Controlador lógico programable (PLC)	Wecon Lx5s-1616MR	Siemens S7-1200
Alimentación de energía	110 V AC / 24 V DC	2200 V AC / 24 V DC
Alimentación de aire	6 bar	6 bar
Sensores	Magnético, inductivo	Magnético Reed, de presencia, inductivo
Actuadores	Lineal. Pinza de 3 mordazas	Lineal, de giro, pinza de sujeción de 2 dedos
Banda transportadora	Motor 24 V	Motor 24 V
Botones de control	Inicio, paro, reset, paro de emergencia	Inicio, paro, reset, paro de emergencia, selector ciclo continuo/único
Almacenaje	Mesa de movimiento lineal	Alimentador por gravedad
Interfaz de monitoreo	Computador	Computador
Costo	1440 \$	3100 \$

Realizado por: Maspud A, Yanchaluisa S, 2024.

Con el análisis de la *Tabla 4-26* se determina que el módulo implementado presenta características similares con el módulo FMS correspondientes al funcionamiento y componentes, por el contrario, el costo del módulo implementado representa solo el 46.45% del módulo comercial. Con esto se puede concluir que el módulo en estudio tiene un sistema funcional idéntico que uno comercial, con la ventaja de ser una opción más rentable.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se implemento un módulo didáctico que permite el montaje de embolo, vástago y tapa de un actuador neumático para un sistema de montaje de cilindros neumáticos en el laboratorio de automatización FIE-ESPOCH.

Se determinaron los requerimientos con las seis partes fundamentales para el diseño y construcción del módulo didáctico. Además, se establecieron requisitos del proceso con el propósito de respaldar un funcionamiento adecuado para prevenir cualquier daño imprevisto durante su ejecución.

Los resultados de normalidad analizando el tiempo de trabajo para las etapas de montaje, transporte, almacén y ensamblaje total, tienen un valor superior al 0.05 de significancia por lo que se determina que en dichas etapas tienen una distribución normal.

De la prueba de validación de los sensores tanto inductivos como magnéticos se determinaron errores absolutos menores al 10% por lo que se identificó que dichos sensores funcionan de manera correcta a las distancias establecidas por los fabricantes. Además, para el sensor inductivo se tiene de error relativo de 0%, 6.67%, 93.33% a distancias de 0.8, 1 y 1.2 mm respectivamente en el cual para 0%, 6.67% se obtiene un criterio de validación “muy bueno” y “aceptable” mientras que el 93.33% es considerado “poco confiable” según (Santo & Lecumberry, 2005).

A través del proceso de validación de montaje de componentes del cilindro neumático se realizaron tres secciones con 10, 20 y 30 pruebas, para el cual se obtuvo coeficientes de variación de 0%, 0%, 0.63% respectivamente, los cuales se encuentran en el rango aceptable, por lo tanto, el módulo didáctico de montaje queda validado que puede ensamblar 30 cilindros con un error mínimo.

Después de realizar el análisis de la prueba de validación de montaje de componentes del cilindro neumático se planteó, mejorar el diseño del pallet para no tener deslizamiento cuando la banda se detiene en el punto de montaje, por consiguiente, se realizaron nuevamente 30 muestras donde se

presentó un coeficiente de variación de 0%, por lo que el módulo queda validado a 30 muestras sin error alguno en el ensamblaje del cilindro neumático.

De la prueba de consumo eléctrico se determinó una eficiencia del 36.49% el cual es denominado como consumo bajo según (Guide for the Efficient Use of Electric Power in Ecuador, 2020). Además de la comparativa de corrientes y potencia se obtiene que el módulo implementado tiene un menor consumo de 51.69% a comparación con el módulo comercial IPC 201.

Con el análisis comparativo entre el módulo implementado y el FMS 203, se logró identificar que ambos son similares en sus componentes, características y funcionamiento. La principal diferencia es el costo, ya que el módulo implementado es 54.54% más económico que el comercial. Con esto se demuestra que la implementación del módulo en estudio ofrece mayor rentabilidad, brindando características similares a un módulo comercial.

5.2 Recomendaciones

Realizar un mayor número de muestras y pruebas para la validación del módulo con el objetivo de verificar cual es la máxima cantidad de cilindros neumáticos que el módulo puede ensamblar de manera correcta.

Integrar inteligencia artificial para conocer el estado de la mesa deslizante que contiene los componentes del cilindro neumático, logrando conocer si existe o no la presencia de componentes en las diferentes posiciones.

Desarrollar un sistema CLOUD-SCADA que permita llevar el monitoreo del proceso a cualquier lugar de manera inalámbrica.

Integrar un sistema de control de tráfico de *pallets* que permita conectar toda línea de producción de cilindros neumáticos.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGUDELO, Néstor; et al.** “Historia de la automatización”. *Bogota. Accessed* [en línea], 2020, (Colombia) vol. 1, págs. 1-5. [Consulta: 22 noviembre 2023]. Disponible en: <https://ingenierovizcaino.com/ecci/aut1/corte1/articulos/Historia%20de%20la%20Automatizacion.pdf>
2. **ALONSO, José.** *Montaje y puesta en marcha de sistemas robóticos y sistemas de visión, en bienes de equipo y maquinaria industrial. FMEE0208* [en línea]. Málaga-España: IC Editorial, 2022. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=NEqhEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=ALONSO,+J.L.P.,+2022.+Montaje+y+puesta+en+marcha+de+sistemas+rob%C3%B3ticos+y+sistemas+de+visi%C3%B3n,+en+bienes+de+equipo+y+maquinaria+industrial.+FMEE0208.+S.l.:+IC+Editorial.+&ots=uc8vUozFl8&sig=BvRWfPZizbzc3uJDAddcHu5o21c#v=onepage&q&f=false>
3. **AURIS, Harold & CÁRDENAS, Félix.** Diseño y automatización de un sistema de bandas transportadoras modulares para la distribución de jabas en la empresa Supermercados Peruanos SA [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Callao. Callao-Perú. 2019. págs. 20-41 [Consulta: 22 noviembre 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12952/3428>
4. **AUTOMATION.** *PLC'S DELTA ELECTRONICS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES* [en línea]. México, 2023. [Consulta: 15 diciembre 2023]. Disponible en: <https://deltaelectronicsdistribuidor.com/plcs-delta/>
5. **AUTOMATION.** *Controladores programables PLC* [en línea]. México, 2023. [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers.html>
6. **BERTI, Sergio; et al.** “Controlador de motores paso a paso mediante técnica de micropasos por modulación de ancho de pulso”. *UTN-FRBA* [en línea], 2022, (Argentina), págs. 15-18. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.frba.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2021/02/SDC16.pdf>
7. **BOGUSZ, Jacek.** “Sensores fotoeléctricos en la práctica–reconocimiento de la dirección del movimiento”. *Revista española de electrónica* [en línea], 2020, (España), págs. 57-60. [Consulta: 29 noviembre 2023]. Disponible en: <https://redeweb.com/junio2020.pdf>
8. **BOWNE, Michael.** *Canales de comunicación PROFINET – PI Norte América* [blog]. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://us.profinet.com/canales-de-comunicacion-profinet/>

9. **CARRILLO, Pablo.** Implementación de módulo de movimiento de motores paso a paso con controlador integrado. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid-España. 2018. págs. 16-22. [Consulta: 02 noviembre 2023]. Disponible en: https://oa.upm.es/52581/1/TFG_PABLO_CARRILLO_CARRASCO.pdf
10. **CAYANCELA, Jorge & COLCHA, Edison.** Diseño y construcción de un módulo de automatización del proceso de ensamblaje usando ventosa neumática, controlado con PLC y pantalla táctil para la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2015. págs. 36-43. [Consulta: 05 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4485>
11. **CHAVARRIAGA, Cristian; et al.** Diseño y fabricación de un módulo didáctico para practicas neumáticas. [En línea]. (Trabajo de titulación). INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO. Medellín-Colombia. 2018. págs. 20-23. [Consulta: 28 octubre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/531>
12. **CHÁVEZ, Carlos.** Estudio del efecto a desgaste en los materiales usados para engranajes en un motorreductor por medio de inspección visual. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2022. págs. 105-120. [Consulta: 22 noviembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/18380/1/15T00842.pdf>
13. **CHIMBO CEVALLOS, Jhericoo & SHIGUI CARASAYO, Robinson.** Implementación de un módulo para la automatización de procesos industriales para el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). Maná-Ecuador. 2021. págs. 50-67. [Consulta: 08 noviembre 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11340>
14. **DÁVILA ACOSTA, Ivan.** Diseño e implementación de dos módulos didácticos que emulen una celda de control industrial basada en una red profinet y una plataforma de control supervisorio. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2023. págs. 80-85. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25215>
15. **FERNÁNDEZ, José.** *Motores eléctricos para la industria.* [blog]. [Consulta: 25 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>
16. **GANDHI, Mayur.** *Cuáles son los protocolos de comunicación industrial - AUTYCOM.* [blog]. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.autycom.com/protocolos-de-comunicacion-industrial/>
17. **GARCÍA, Luis & QUINTO, Carlos.** Sistema didáctico sobre automatización y seguridad eléctrica automotriz destinado a Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional

- Autónoma de Nicaragua. [En línea]. (Trabajo de titulación). Electrónica de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Mangua-Nicaragua. 2016. págs. 52-59. [Consulta: 26 noviembre 2023]. Disponible en: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:164623118>
18. **GÓMEZ PINDADO, Javier.** Diseño e implementación del control de motor paso mediante dispositivos embebidos RIO. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Valladolid. Valladolid-España. 2018. págs. 45-52. [Consulta: 29 noviembre 2023]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/32887/TFG-I-1007.pdf>
 19. **ZUÑIGA, Guadalupe. & ANDRÉS, Sebastián.** Desarrollo, construcción y pruebas de un prototipo de prótesis automatizada (brazo izquierdo) por medio de sensores electro musculares. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2018. págs. 65-71. [Consulta: 1 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/9451>
 20. **GUAILACELA MESÍAS, Alison & PÉREZ MALDONADO, Diego.** Diseño e implementación de un módulo didáctico para la simulación de aplicaciones con servomotor, PLC Y HMI INVT. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil-Ecuador. 2018. págs. 66-68. [Consulta: 25 marzo 2024]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21819>
 21. **ILASACA CALLE, Juan.** Selección de cilindros neumáticos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad José Mariátegui. Moquegua-Perú. 2018. págs. 29-35. [Consulta: 25 marzo 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12819/377>
 22. **INDUSTRIAS GLS.** *PLC Siemens.* [blog]. [Consulta: 26 diciembre 2023]. Disponible en: <https://industriasgsl.com/blogs/blog/plc-siemens>
 23. **INDUSTRIAS GSL.** *Protocolos de comunicación industrial – Industrias GSL.* [blog]. [Consulta: 19 diciembre 2023]. Disponible en: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/protocolos-de-comunicacion-industrial>
 24. **JIMÉNEZ PALLARES, Alejandro.** Diseño electrónico de un sensor capacitivo para la medida de frecuencia respiratoria. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Sevilla. Sevilla-España. 2020. págs. 44-50. [consulta: 17 diciembre 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11441/106804>
 25. **BUENO, Juan.** *Unidad didáctica: “Neumática e hidráulica”.* [blog]. [Consulta: 01 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es/document/colegio-visitacion-de-nuestra-senora/tecnologia/unidad-didactica-neumatica-4-v1-c/68757361>
 26. **MASCARÓS, V; et al.** *ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN RED SOBRE EL PROTOCOLO PROFIBUS-DP (I).* [blog]. [Consulta: 10 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/JulianSalt/publication/228406170_Analisis_experime

ntal_del_funcionamiento_de_un_sistema_de_control_basado_en_red_sobre_el_protocolo_Profibus-DP_I/links/542c35e90cf277d58e8c01dd/Analisis-experimental-del-funcionamiento-de-un-sistema-de-control-basado-en-red-sobre-el-protocolo-Profibus-DP-I.pdf

27. **MEHEDI, Ibrahim; et al.** “Two degrees of freedom fractional controller design: Application to the ball and beam system”. *Measurement* [en línea], 2019, (Irlanda). vol. 135. págs. 300-312. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.11.021>
28. **MORENO ARVELO, Pamily; et al.** “Sistema de control interno y profesionalización de los servidores públicos en Ecuador”. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Politécnica y Valores* [en línea], 2019, (Ecuador). vol. 6. págs. 121-132. [Consulta: 24 noviembre 2023]. Disponible en: <https://dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/1359/1687>
29. **OGATA, Katsuhiko.** *Ingeniería de control moderna* [en línea]. Madrid-España: Pearson Educación, S.A, 2010. [Consulta: 11 diciembre 2023]. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QK148EPC_m0C&oi=fnd&pg=PA115&dq=OGATA,+K.,+2010.+Ingenier%C3%ADa+de+control+moderna.+S.l.:+s.n.&ots=242kr9aXmf&sig=RzWFv12o5eo_PowduT7yGFUpR14#v=onepage&q&f=false
30. **OLAYA, Andrés; et al.** “Implementación de una Red MODBUS/TCP”. *Ingeniería y Competitividad* [en línea], 2004, (Colombia), vol. 6 (2), págs. 5-7. [Consulta: 28 noviembre 2023]. Disponible en: https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2277
31. **POWELL, James.** *Profibus and Modbus: a comparison. Automation.* [blog]. [Consulta: 5 enero 2024]. Disponible en: <https://us.profinet.com/>
32. **RAMIREZ CORDOVA, Hans.** Sistema embebido con sensores inductivos para reducir los accidentes de tránsito en la ciudad de Tarapoto-2021. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto-Perú. 2021. págs. 80-85. [Consulta: 24 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4311>
33. **REYES, Luis.** *SISTEMAS DE CONTROL II: Sistemas de Segundo Orden: Lazo Cerrado.* [blog]. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://syscontrol2.blogspot.com/2007/10/sistemas-de-segundo-orden-lazo-cerrado.html>
34. **REYES FLORES, Epifanio.** “Tipos de Sensores”. *Con-Ciencia Serrana Boletín Científico de la Escuela Preparatoria Ixtlahuaco* [en línea], 2019, (México), vol. 1 (2), págs. 1-3.

- [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ixtlahuaco/article/view/4405/6154>
35. **RIVERA, Miguel; et al.** “Módulo didáctico de transporte y clasificación de objetos”. *Pistas Educativas* [en línea], 2018, (México), vol. 38 (120), págs. 3-10. [Consulta: 24 noviembre 2023]. Disponible en: <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/563/497>
36. **RUIZ GAMBOA, Giovanni; et al.** Implementación y montaje de módulo educativo didáctico automatizado para manejo de subestaciones eléctricas. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Popayán-Colombia. 2020. págs. 32-39. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38753>
37. **SOTHIS.** *Qué es un PLC y el protocolo más utilizado - Sothis.* [blog]. [Consulta: 9 enero 2024]. Disponible en: <https://www.sothis.tech/plc-dispositivo-electronico-o-programmable-logic-controller/>
38. **SUÁREZ HERNÁNDEZ, Oscar.** Diseño de una banda transportadora de charolas de alimentos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México-México. 2018. págs. 10-13. [Consulta: 9 enero 2024]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/jspui/handle/123456789/24202>
39. **THOMAZINI, Daniel & DE ALBUQUERQUE, Pedro.** *Sensores industriales: fundamentos y aplicaciones* [en línea]. Sao Paulo-Brasil: Renata Pascual, 2020. [Consulta: 9 noviembre 2023]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1qgPEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP15&dq=+THOMAZINI,+D.+y+DE+ALBUQUERQUE,+P.U.B.,+2020.+Sensores+industriais:+fundamentos+e+aplica%C3%A7%C3%A3o+SA.+&ots=RK3v3LfNSF&sig=rCHIs4zvy4oJfEmxrNssK7yh0Bk#v=onepage&q&f=false>
40. **ESCALERA, Manuel. & RODRÍGUEZ, Antonio.** *Actuadores neumáticos.* [blog]. [Consulta: 11 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/29685432/ACTUADORES_NEUM%C3%81TICOS_5o_Ingenier%C3%ADa_Industrial
41. **VARGAS FRANCO, Viviana.** *Estadística descriptiva para ingeniería ambiental con SPSS* [en línea]. Bogotá-Colombia: Editora Viviana Vargas Franco, 2007. [Consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52004>
42. **VILLALBA DUARTE, Kevin.** Ensamblaje automatizado pistón-biela mediante dos brazos robot. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España. 2019. págs. 52-55. [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/87156>

43. **WECON.** *Series PLC de Wecon.* [blog]. [Consulta: 18 enero 2024]. Disponible en: <https://wecon-iiot.com/plc-wecon/>
44. **XUAN, Anqi.** Influencia de los principales parámetros de funcionamiento de las líneas de montaje en su rendimiento. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid-España. 2020. págs. 30-35. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: https://oa.upm.es/60407/1/TFG_ANQL_XUAN.pdf



ANEXOS

ANEXO A: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PLC WECON LX5S-1616MR



LX3V Series PLC programming manual

Rated voltage	AC100~240V	
Voltage range	AC85~264	
Rated frequency	50/60 Hz	
Power outage time	Continue to work within 10ms power outage time	
Power fuse	250V 1A	250V 3.15A
Impulse current	Less than 20A 5ms/AC 100V	
Power	20W	50W
Sensor power supply	DC 24V 70mA	

Rated voltage	DC24V	
Voltage range	DC24V ± 10%	
Power outage time	Continue to work within 10ms power outage time	
Power fuse	250V 3.15A	
Impulse current	Less than 15A 1ms/AC 100V	
Power	Less than 30W(not include the power of the expansion module)	

No.	Device	Descriptions
1	X - Input	Representation of physical inputs to PLC;
2	Y - Output	Representation of physical outputs from PLC;
3	M - Intermediate	Common intermediate register; System special register;
4	S - State	PLC internal states flag for step control;
5	T - Timer	16-bit timer (1, 10 and 100ms)
6	C - Counter	16-bit and 32-bit up/down counter; High speed counter;
7	D - Data register	Data register ; String register; Indirect addressing address;
8	P, I - Pointer	Jump pointer; Sub-program pointer; Interrupt pointer (high speed,);
9	K, H - Constant	Binary, decimal, hexadecimal, floating point, etc.

Item	AC power supply, DC output
Model	LX series basic unit
Input signal voltage	DC 24V±10%
Input signal current	7mA/DC 24V (behind X002, 3.5 mA/DC24V)
Input off current	Less than 1.5 mA

Input responding time	About 10ms Can be changed to 0 ~ 15ms by built-in digital filter D8020
Input signal type	Contact input or NPN, PNP open electrode transistor input
Insulated return	Optical coupler insulation
Input statuses	When input is ON, LED is ON

Input loop structure

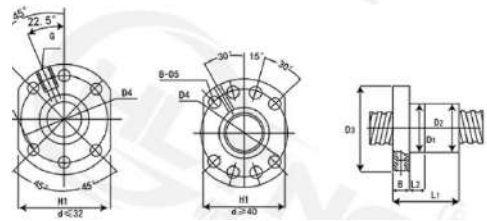
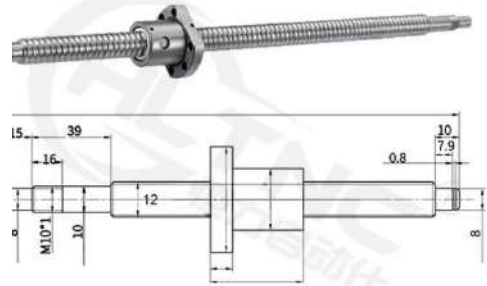
The diagram is NPN connection method, if S/S is connected to negative pole, X is connected to positive pole, that is PNP connection method.

load		0.8A/4points,0.3A/point(Y0,Y1)
	Inductive	80VA 12W/DC24V,7.2W/DC24V(Y0,Y1)
	General	100W 0.9W/DC24V,0.9W/DC24V(Y0,Y1)
Leak current	-----	0.1 Ma/DC30V
Minimum load	-----	DC5V 2mA(reference)
Response time	About 10ms	Less than 0.2 ms, 5us(Y0,Y1)
Output signal type	-----	NPN type

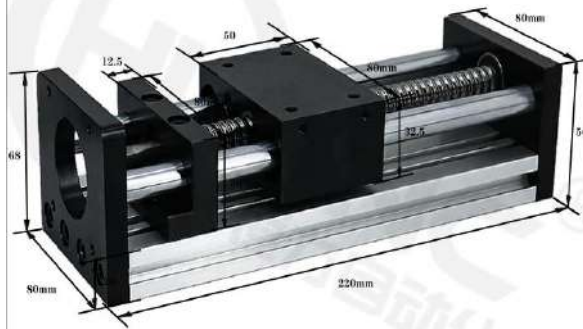
ANEXO B: DATASHEET DE MOTOR PASO A PASO 57HS56 CON EJE LINEAL Y MINIMESA DESLIZANTE



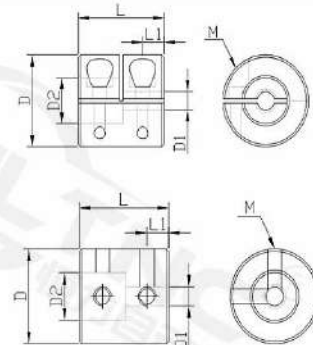
Specifications				Diagram
Step angle	1.8° ± 5%	Current	3.0A	
Phase No.	2	Resistance	0.95 ± 10% Ω	
Insulation resistance	100(500V DC)	Inductance	2.8 ± 20% mH	
Insulation class	B	Torque	1.2N	



SLIDE TABLE SIZE



Model No.	Sha. pitch	Pitch	Ball Diameter	Flange Type	Ball Number	Nut Installation Size								Rated Load (kg)			
						D1	D2	D3	D4	D5	L1	L2	B	G	H1	Dynamic	Static
SFU1204-3	12	4	2.981	4-4-32	3	22	23.5	42	32	4.8	35	10	8	M3*1	30	4	6.7



MODEL	D (mm)	L (mm)	D1-D2 (mm)	M (mm)	L1 (mm)	SCREW TIGHTENING TORQUE (n.m)
LL-B-D20L25	20	25	4-10	M3.0	6	1.2

ANEXO C: DATASHEET DE MOTOR YUN DUAN CTM 28-0602-50 (NEMA 11) Y DIMENSIONES DE EJE LINEAL Y MESA DESLIZANTE

1.8*28mm (NEMA11) 2 phase Hybrid Stepper Motor

General Specification:

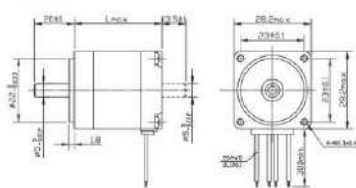
Item	Specifications
Step Angle	1.8°
Temperature Rise	80°C max
Ambient Temperature	-20°C ~ +50°C
Insulation Resistance	100 MΩ Min., 500VDC
Dielectric Strength	500VAC for 1 minute
Shaft Radial Play	0.02Max. (450g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max. (450g-load)
Max. radial force	28N (20mm from the flange)
Max. axial force	10N



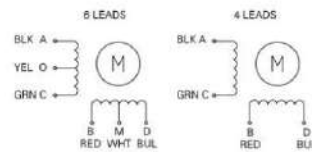
Electrical Specification:

Model No.		Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	#CY Leads	Rotor Inertia	Weight	Length
Single Shaft	Double Shaft	V	A	Ω	mH	Oz-in g-cm		g-cm ²	Kg	mm
SM28HT32-0956A	SM28HT32-0956B	2.66	0.95	2.8	1.0	6 430	6	9	0.11	32
SM28HT32-0674A	SM28HT32-0674B	3.8	0.67	5.6	4.2	8.3 600	4			
SM28HT45-0956A	SM28HT45-0956B	3.2	0.95	3.4	1.2	10.4 750	6	12	0.14	45
SM28HT45-0674A	SM28HT45-0674B	4.5	0.67	6.8	4.9	13.2 950	4			
SM28HT51-0956A	SM28HT51-0956B	4.4	0.95	4.6	1.4	12.5 900	6	18	0.2	51
SM28HT51-0674A	SM28HT51-0674B	6.2	0.67	9.2	5.7	16.7 1200	4			

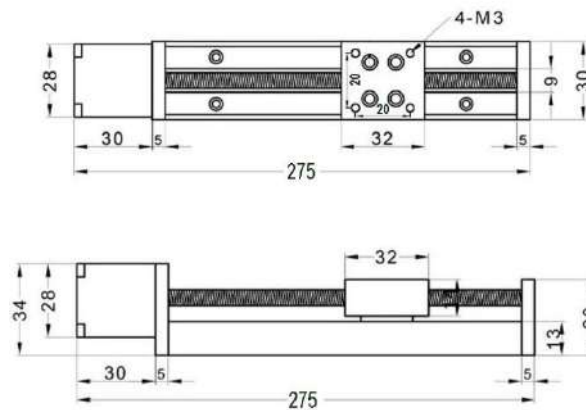
Dimensions:
(Unit:mm)



Wiring Diagram:



Unit: mm



ANEXO D: DATASHEET DE CONTROLADOR ST-PMC1

I. Features

- Number of controlled axis: Single axis; can achieve a variety of complex operation: positioning control and non-positioning control;
- The maximum output frequency: 40KHZ;
- Output frequency resolution: 1Hz;
- Programmable maximum number of rows: 99;
- Signal input: 6 (optical isolation);
- Signal output: 3 (optical isolation);
- A continuous displacement range: -7,999,999 ~ 7,999,999;
- Operating state: Auto-run mode, manual operation, the program edit mode, parameter setting status;
- Lifting speed curve: 2 (optimization);
- Display digits: 8 digital display, manual / automatic status display, run / stop status display, the number of steps / counts / procedures display, edit the program, parameter display, input / output status display, pulse and direction display ;
- Auto-run feature: You can edit, you can control the start and stop operation ect. automatically through the panel buttons and adding switches that connected to the back of the terminals;
- Manual operation functions: position adjustment (manual jog speed and jog the number of steps can be set);
- Parameter setting function: Starting frequency, acceleration and deceleration curve, reverse clearance, manually run length, manual speed, back to zero speed and interrupt jump the line all can be set;
- Program editing functions: You can insert, delete, modify the program. The controller can identify the error instruction;
- Return to Zero features: It can return to zero from the positive and negative directions automatically
- The number of programming instructions: 14;
- External operating functions: interrupt operation through parameter setting and add switches that connected to the terminals A and B;
- Power supply:DC 24V;

Programmable Motion Controller

III. Back panel diagram and signal descriptions

1. CP, CW, OPTO for stepper motor drive signal ;

CP: pulse signal

CW: direction signal

OPTO: Public male end before the two signals

2. RUN: Start running the program, The same function as "Run" of the operation panel;

3. STOP: Pause program is run automatically, The same function as "Pause" of the operation panel, After starting again, the program continues to run;

4. A: A operation

B: B operation

+24V	COM+
GND	COM-
OUT3	IN2
OUT2	IN1
OUT1	B
OPTO	A
CW	STOP
CP	RUN

Figure II: Back panel diagram

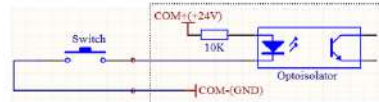


Figure III: switch input circuit

When the switch is turned on, input level is low, on the front panel indicator lights, the program is defined as 0.

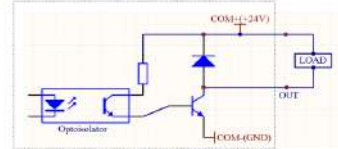


Figure IV: switch output circuit

Output of low output, load conduction, front panel indicator lights, the program is defined as 1.

N O	Name	parameter display form	Data range (unit)	Parameter Description
1	Off frequency	fF----- fF X X X X X X	400-3999 (Hz)	If the set value is less than 400Hz, the system will alarm; Users can set different off frequencies according to their actual situation
2	Rising and falling curve	rS----- rS X	L, H (stripe)	The controller has two internal optimization rising and falling speed curve, L is a slow curve; H to a faster curve; to select a different rate of rise and fall curve based on the actual load situation.
3	Backlash compensation	CC----- CC XXXX	0-9999 (pulses number)	Mainly used to compensate the rotation mechanism(such as a screw, gear, etc.) The amount of displacement caused by the backlash error compensation is not displayed on the controller.
4	Manual increment	HL----- HL X X X X X X X X	1-999999 (pulses number)	In manual mode, the manual operation is a displacement of the stepper motor; If the set value is equal to 0, the system will alarm.
5	Manual speed	HF----- HF X X X X X X X	1-39999 (Hz)	In manual mode, manual operation is running speed stepper motor; If the set value is equal to 0, the system will alarm.
6	Back to zero speed	bF----- bF X X X X X X	1-39999 (Hz)	When zeroing operation, stepper motor speed; If the set value is equal to 0, the system will alarm.
7	A Operation" entry address	nA----- nA XX	00-99 (Line number)	When the program is running, if the "A Operation" signal input port, the motor for the deceleration stop the program at this interruption, the application remembers interrupted coordinate values, the program will jump to this line number specified by the program at run the program.
8	B Operation" entry address	nB----- nB XX	00-99 (Line number)	When the program is running, such as Gnc "B Operation" end signal input, the motor will slow down to stop the program at this interruption, the application remembers interrupted coordinate values, the program will jump to this line number specified by the program run the program.
9	Pulse mode	CP----- CP X	0, 1	CP = 0 represented as a single pulse output, CP-side rear panel output step pulse, CW-ended output direction level; CP = 1 expressed as a single pulse output, CP-ended output on the rear panel forward step pulse, CW-ended output inversion step pulse.

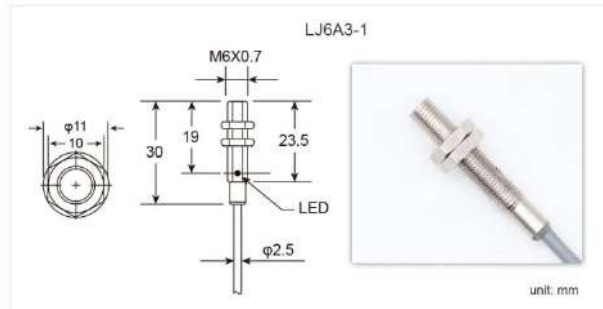
ANEXO F: SENSOR LJ6A3-1-P1

Part Number

Modelo	M3	M4	Tornillo M4	Tornillo de M5	Tornillo de M6
NPN 3 hilos NO	LJ3A2-1-N1	LJ4A2-1-N1	LJ4A3-1-N1	LJ5A3-1-N1	LJ6A3-1-N1
NPN 3 hilos NC	LJ3A2-1-N2	LJ4A2-1-N2	LJ4A3-1-N2	LJ5A3-1-N2	LJ6A3-1-N2
PNP 3 hilos NO	LJ3A2-1-P1	LJ4A2-1-P1	LJ4A3-1-P1	LJ5A3-1-P1	LJ6A3-1-P1
PNP 3 hilos NC	LJ3A2-1-P2	LJ4A2-1-P2	LJ4A3-1-P2	LJ5A3-1-P2	LJ6A3-1-P2
DC 2 hilos NO	-	-	-	LJ5A3-1-D1	LJ6A3-1-D1
CC 2 hilos NC	-	-	-	LJ5A3-1-D2	LJ6A3-1-D2
CA 2 hilos NO	-	-	-	-	LJ6A3-1-A1
CA 2 hilos NC	-	-	-	-	LJ6A3-1-A3

Technical specification

Principio	Transductor conmutador	Frecuencia	500Hz
Forma	Cilindro M3/M4/2/1/2/1/1/2	Corriente de carga	300mA
Voltaje de funcionamiento	10-30VDC; 110-220VAC	Protección Ingresso	IP65
Distancia de detección	0,8mm, 1mm	Temperatura de funcionamiento	-25 a +70 °C
Montaje	Descarga	Indicador	LED rojo

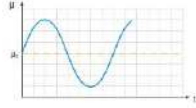


Detection distance: 0.8mm / 1mm

3

Accurate ranging

More accurate and longer life than traditional switches

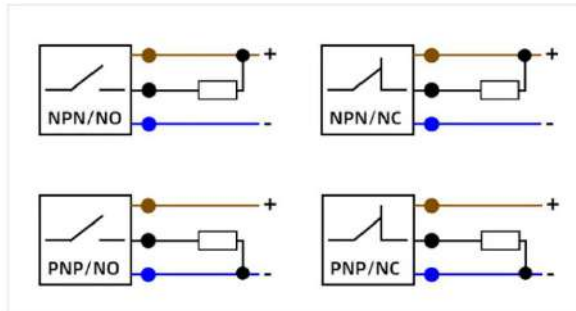


4

High temperature and low temperature resistance

It can work normally in the environment of -25°C~70°C. Suitable for both indoor and outdoor, with small temperature drift and high detection accuracy.

Connection graph



5

LED indicator

When an object is detected: when the light is on, it is NO when the light is off, it is NC



	No object	Object close up
Normally Open (NO)	Switch disconnect	Switch connect
Normally Close (NC) need to customize	Switch connect	Switch disconnect

Reed Auto Switch Direct Mounting Style D-Z73/D-Z76/D-Z80



Grommet



Refer to SMC website for the details of the products conforming to the international standards.

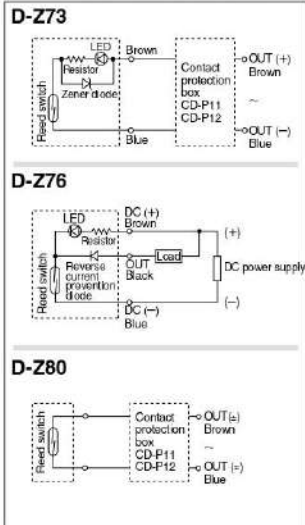
Auto Switch Specifications

PLC: Programmable Logic Controller

D-Z7 (With indicator light)			
Auto switch model	D-Z73		D-Z76
Applicable load	Relay, PLC		IC circuit
Load voltage	24 VDC	100 VAC	4 to 8 VDC
Max. load current and load current range ⁽¹⁾	5 to 40 mA	5 to 20 mA	20 mA
Contact protection circuit	None		
Internal voltage drop	2.4 V or less (to 20 mA)/3 V or less (to 40 mA)		0.8 V or less
Indicator light	Red LED illuminates when turned ON.		
Standard	CE marking		
D-Z8 (Without indicator light)			
Auto switch model	D-Z80		
Applicable load	Relay, PLC, IC circuit		
Load voltage	24 V _{DC} ^{AC} or less	48 V _{DC} ^{AC}	100 V _{DC} ^{AC}
Maximum load current	50 mA	40 mA	20 mA
Contact protection circuit	None		
Internal resistance	1 Ω or less (Including 3 m lead wire)		
Standard	CE marking		

- Lead wires
 D-Z73/D-Z80—Oilproof heavy-duty vinyl cord, ø2.7, 0.18 mm², 2 cores (Brown, Blue), 0.5 m
 D-Z76—Oilproof heavy-duty vinyl cord, ø3.4, 0.2 mm², 3 cores (Brown, Black, Blue), 0.5 m
 Note 1) Refer to page 1272 for reed auto switch common specifications.
 Note 2) Refer to page 1272 for lead wire lengths.
 Note 3) Under 5 mA, the strength of the indicator light is poor. In some cases, visibility of the indicator light will not be possible where the output signal is less than 2.5 mA. However, there is no problem in terms of contact output, when an output signal exceeds 1 mA or more.

Auto Switch Internal Circuit



Note 1) Operating load is an induction load.
 Note 2) Wiring to the load is 5 m or longer.
 Note 3) Load voltage is 100 VAC.
 Use the contact protection box in any of the above listed situations. The contact point life may decrease. (Refer to page 1273 for contact protection box.)

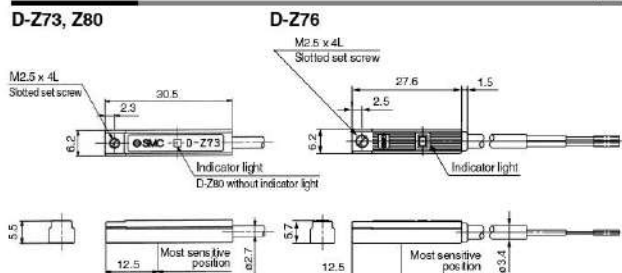
Mass

(g)

Auto switch model	D-Z73	D-Z76	D-Z80
Lead wire length (m)	0.5	10	7
	3	55	31
	5	—	—

Dimensions

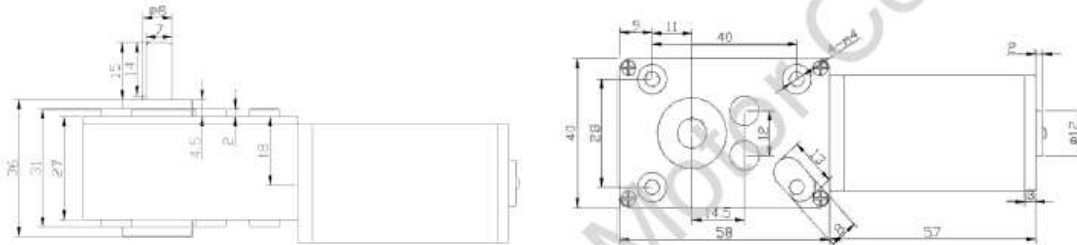
(mm)



ANEXO H: MOTORREDUCTOR 24 VDC 27 RPM

Dimension

UNIT: MILLIMETERS
WEIGHT: 360.0g(APPROX)



Datasheet 1

Voltage	Rated	V	DC 12V							
Reducer	Ratio	i:1	17	31	50	100	200	290	505	670
	Size	mm	L58*W40*H36							
No Load	Speed	rpm	470	260	160	80	40	27	16	12
	Current	A	≤0.35	≤0.35	≤0.35	≤0.35	≤0.35	≤0.35	≤0.35	≤0.35
Rated Load	Speed	rpm	380	200	130	60	30	20	12	9
	Torque	Kgf.cm	2.7	5	8	16	32	46	70	70
	Current	A	≤1.6	≤1.6	≤1.6	≤1.6	≤1.6	≤1.6	≤1.6	≤1.6
	Output	W	10.74	10.47	10.89	10.05	10.05	9.63	8.80	6.60
Stall	Torque	Kgf.cm	4.4	8	13	25	51	70	70	70
	Current	A	6.3	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Weight		g	360							

Voltage	Rated	V	DC 24V							
Reducer	Ratio	i:1	17	31	50	100	200	290	505	670
	Size	mm	L58*W40*H36							
No Load	Speed	rpm	200	110	70	35	17	12	7	5
	Current	A	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1
Rated Load	Speed	rpm	150	80	50	27	13	9	5	4
	Torque	Kgf.cm	2.7	5	8	16	32	46	70	70
	Current	A	≤0.6	≤0.6	≤0.6	≤0.6	≤0.6	≤0.6	≤0.6	≤0.6
	Output	W	4.24	4.19	4.19	4.52	4.36	4.34	3.66	2.93
Stall	Torque	Kgf.cm	4.4	8	13	25	51	70	70	70
	Current	A	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Weight		g	360							

Datasheet 2

Voltage	Rated	V	DC 24V							
Reducer	Ratio	i:1	17	31	50	100	200	290	505	670
	Size	mm	L58*W40*H36							
No Load	Speed	rpm	300	160	100	50	25	17	10	7
	Current	A	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1
Rated Load	Speed	rpm	230	130	80	40	20	14	8	5
	Torque	Kgf.cm	2.7	5	8	16	32	46	70	70
	Current	A	≤0.6	≤0.6	≤0.6	≤0.6	≤0.6	≤0.6	≤0.6	≤0.6
	Output	W	6.50	6.81	6.70	6.70	6.70	6.74	5.86	3.66
Stall	Torque	Kgf.cm	4.4	8	13	25	51	70	70	70
	Current	A	2	2	2	2	2	2	2	2
Weight		g	360							

Voltage	Rated	V	DC 24V							
Reducer	Ratio	i:1	17	31	50	100	200	290	505	670
	Size	mm	L58*W40*H36							
No Load	Speed	rpm	470	260	160	80	40	27	16	12
	Current	A	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2
Rated Load	Speed	rpm	380	200	130	60	30	20	12	9
	Torque	Kgf.cm	2.7	5	8	16	32	46	70	70
	Current	A	≤1.6	≤1.6	≤1.6	≤1.6	≤1.6	≤1.6	≤1.6	≤1.6
	Output	W	10.74	10.47	10.89	10.05	10.05	9.63	8.80	6.60
Stall	Torque	Kgf.cm	4.4	8	13	25	51	70	70	70
	Current	A	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
Weight		g	360							

* Other Parameters: According To Customer Demand For Design

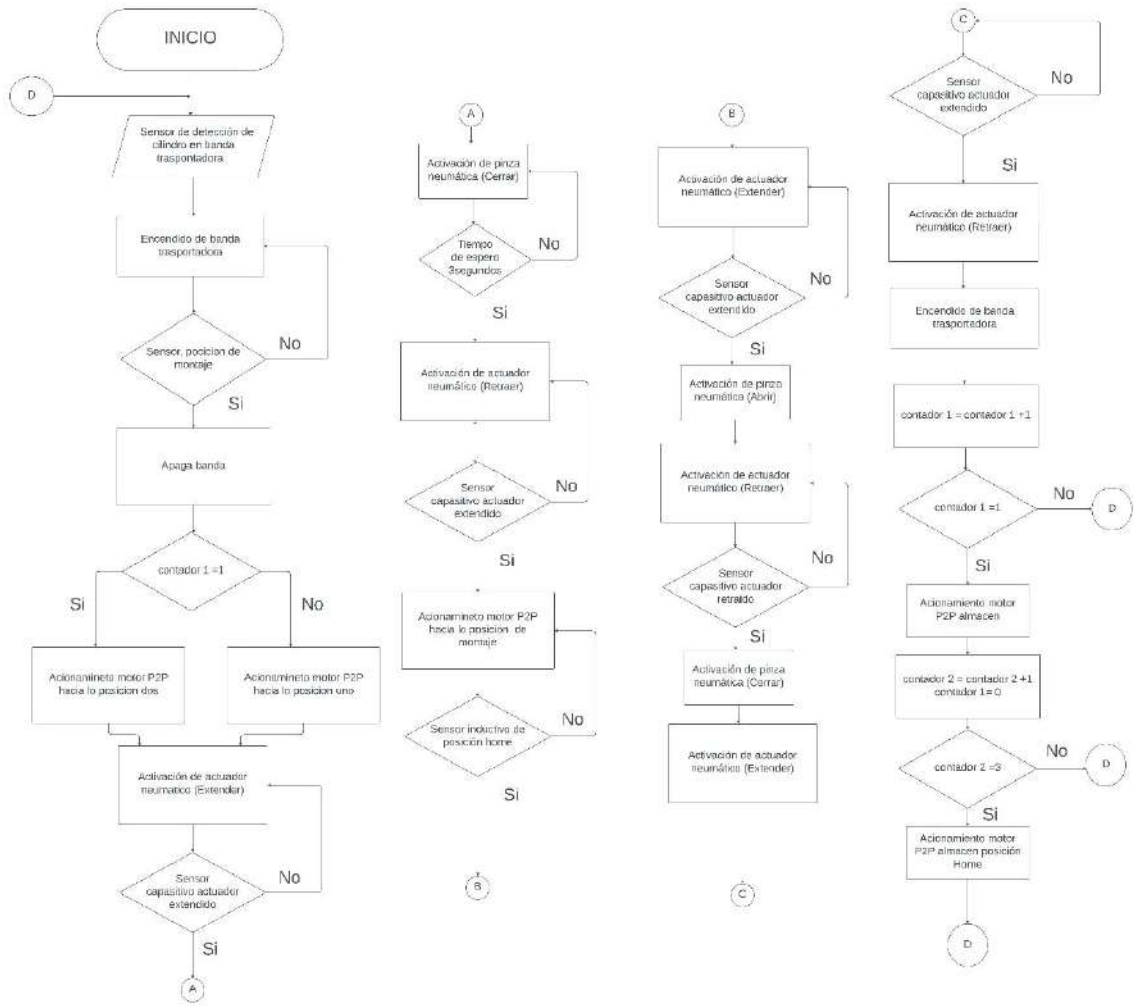
Conventional Custom Specifications

Voltage: DC 6-24V
Speed: 3-470rpm

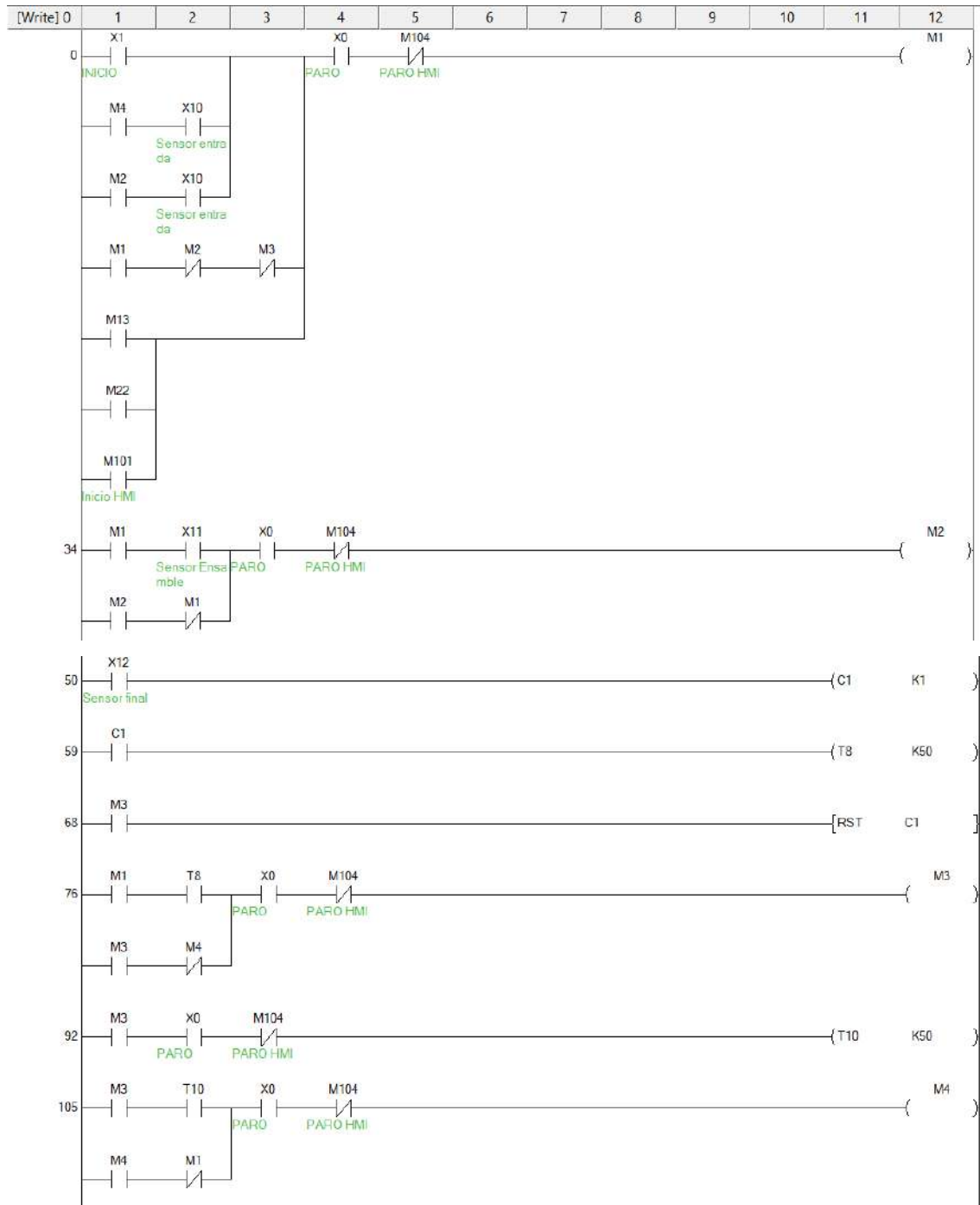
Shaft Type:
Shaft Length:

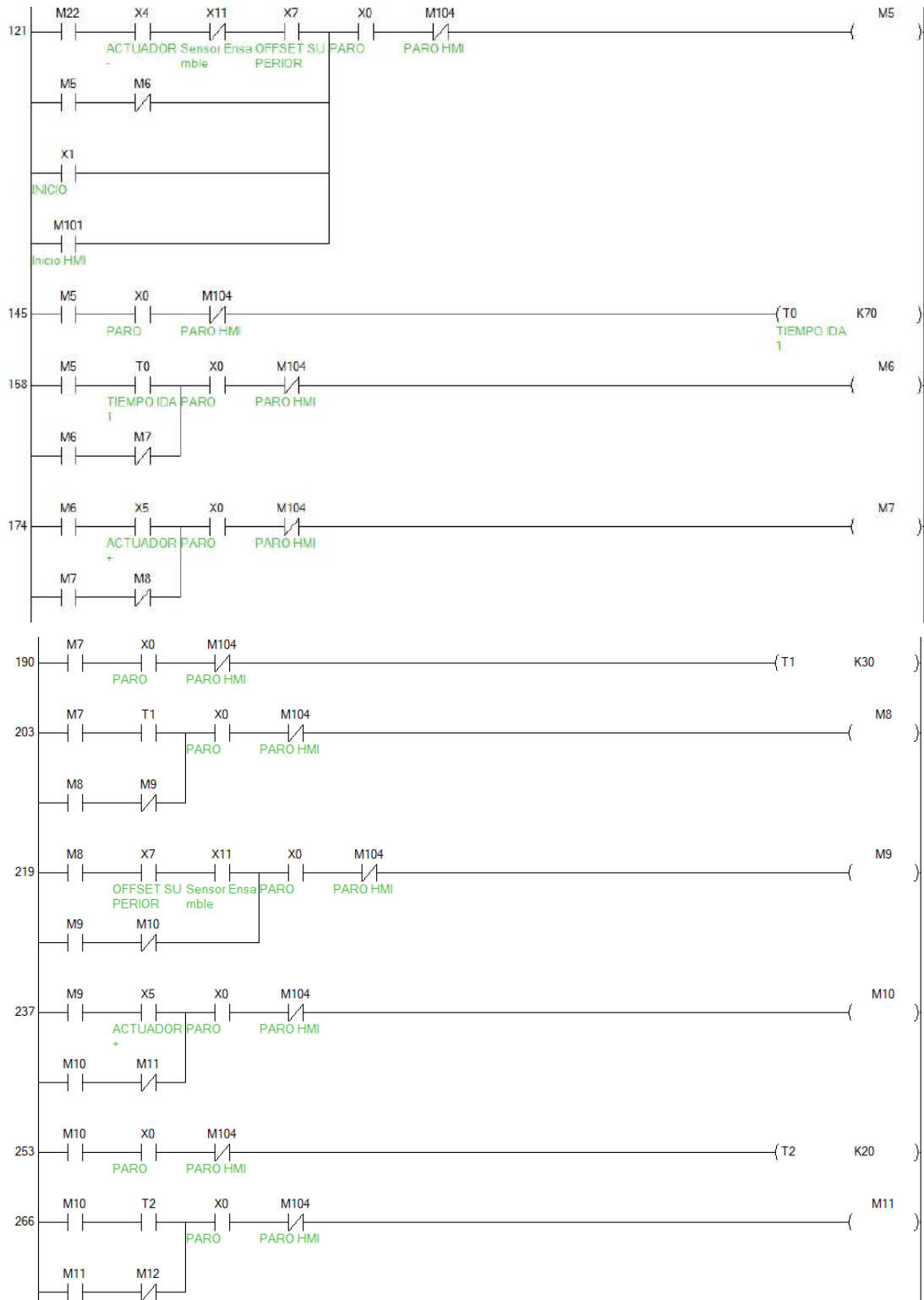
D shaft_Screw Shaft
Customizable

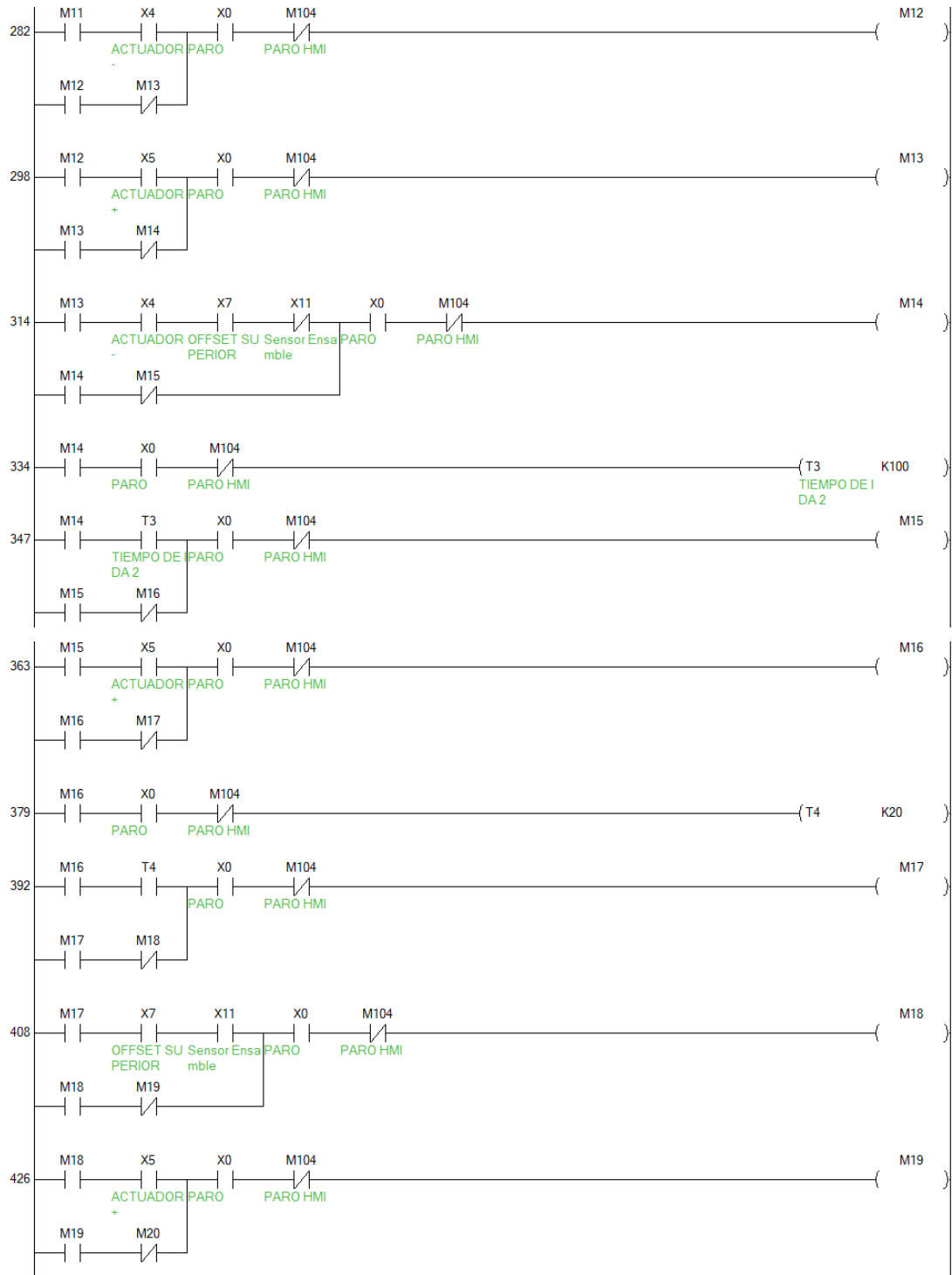
ANEXO I: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

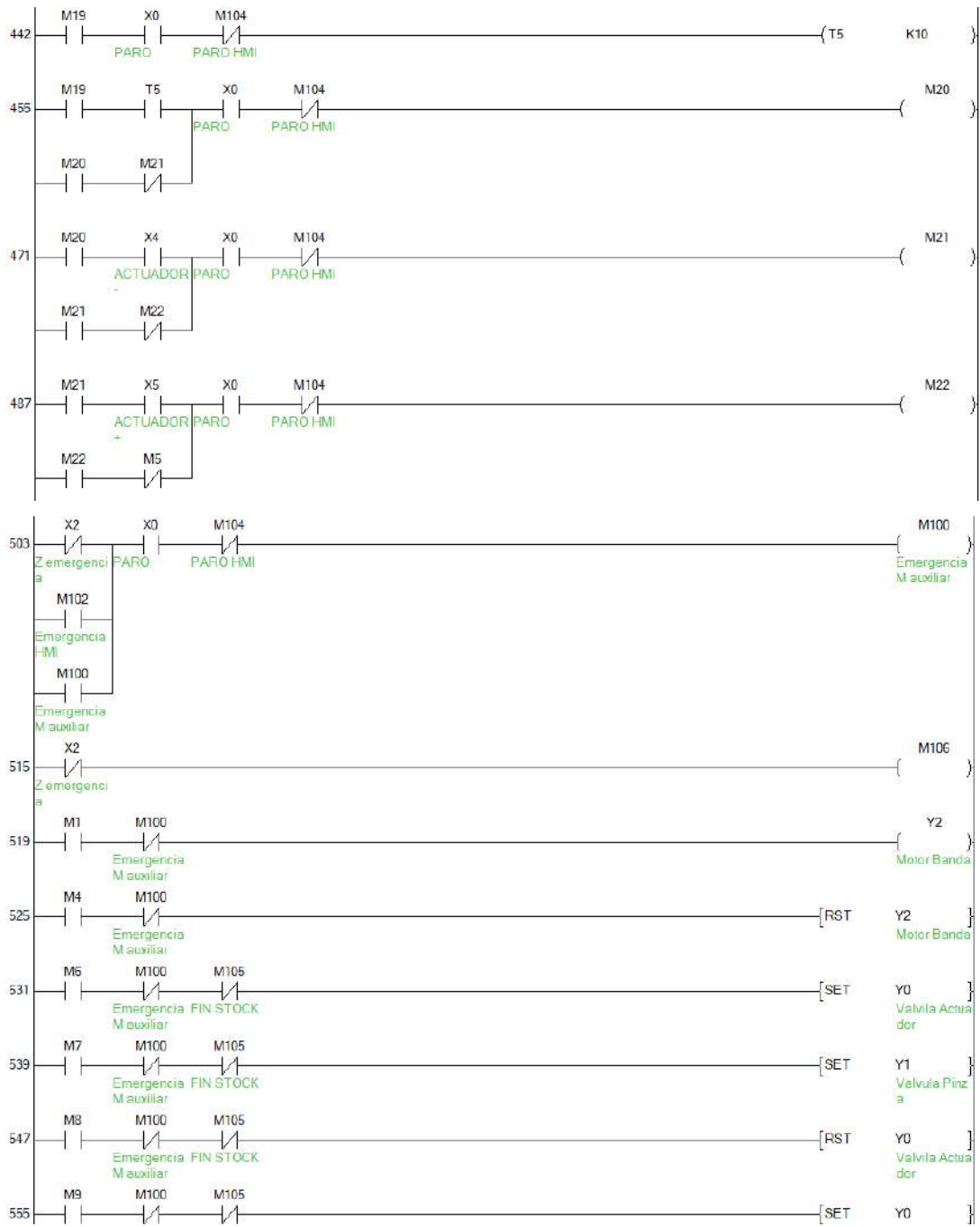


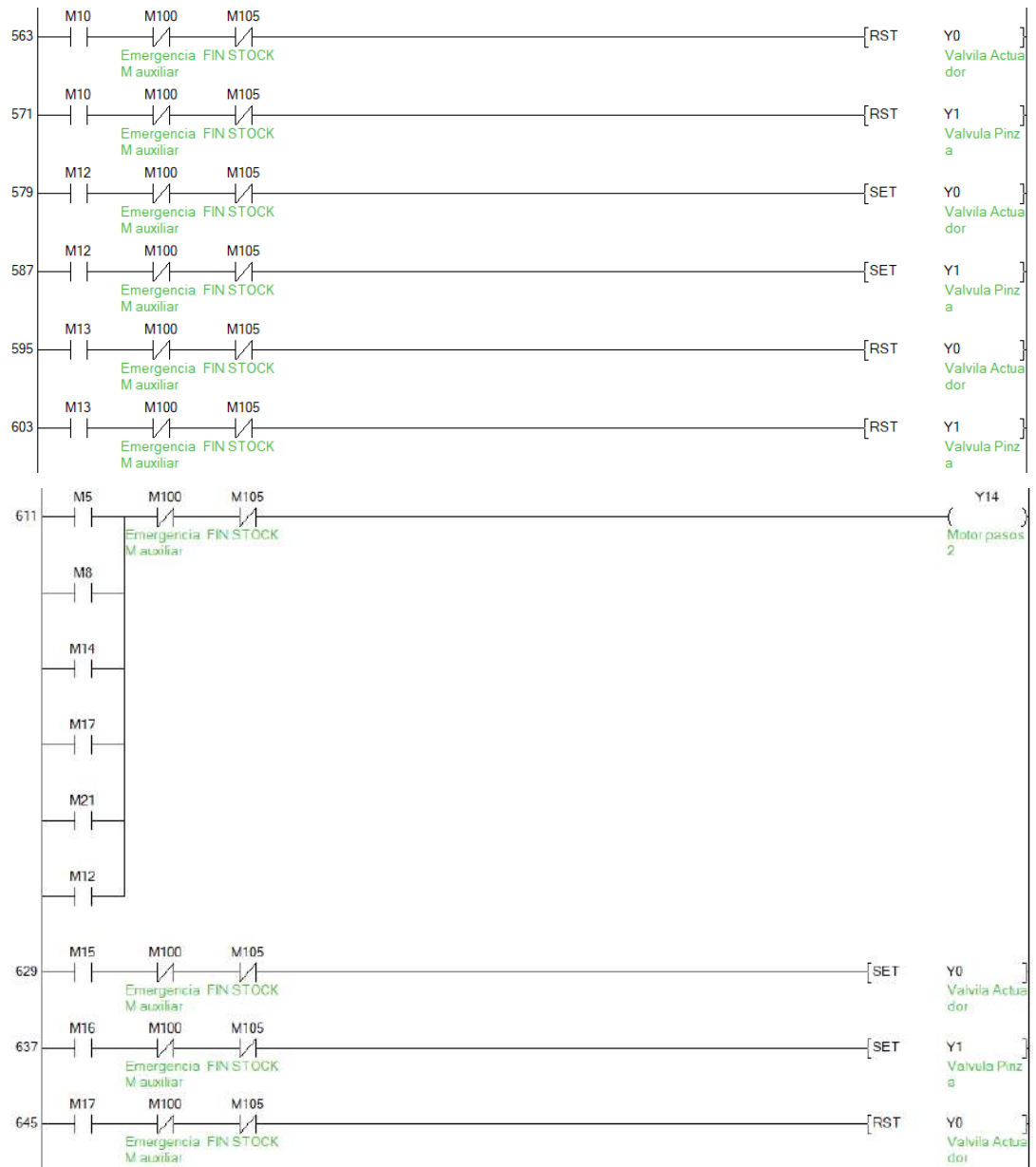
ANEXO J: PROGRAMACIÓN LADDER DEL MODULO DICATICO

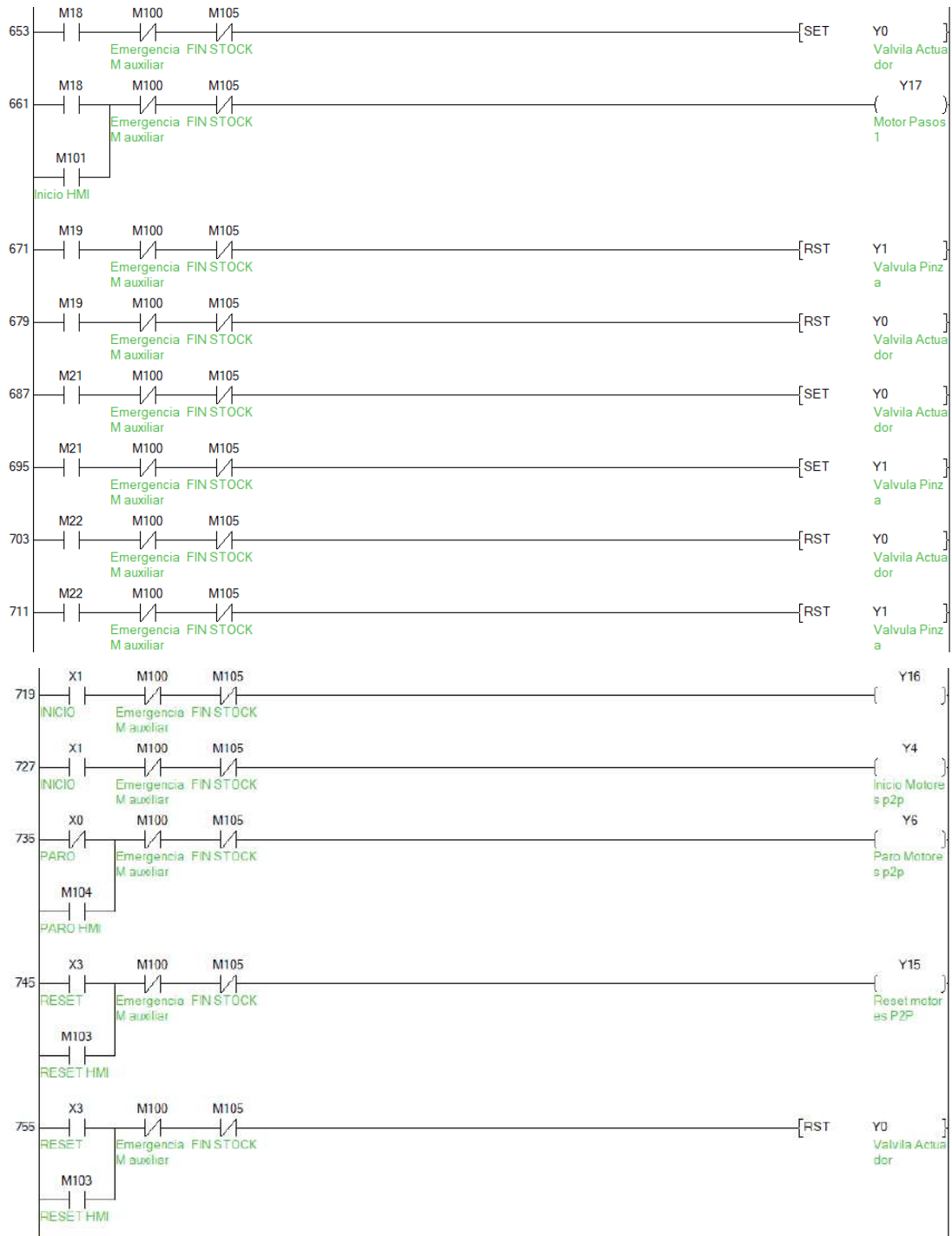


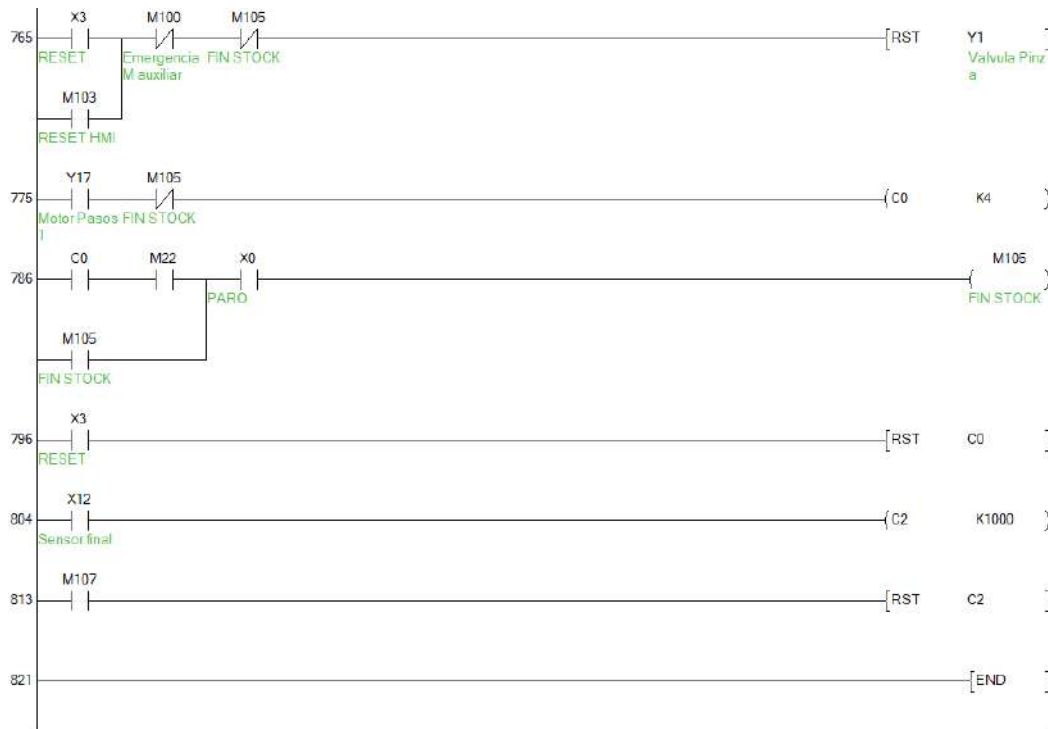




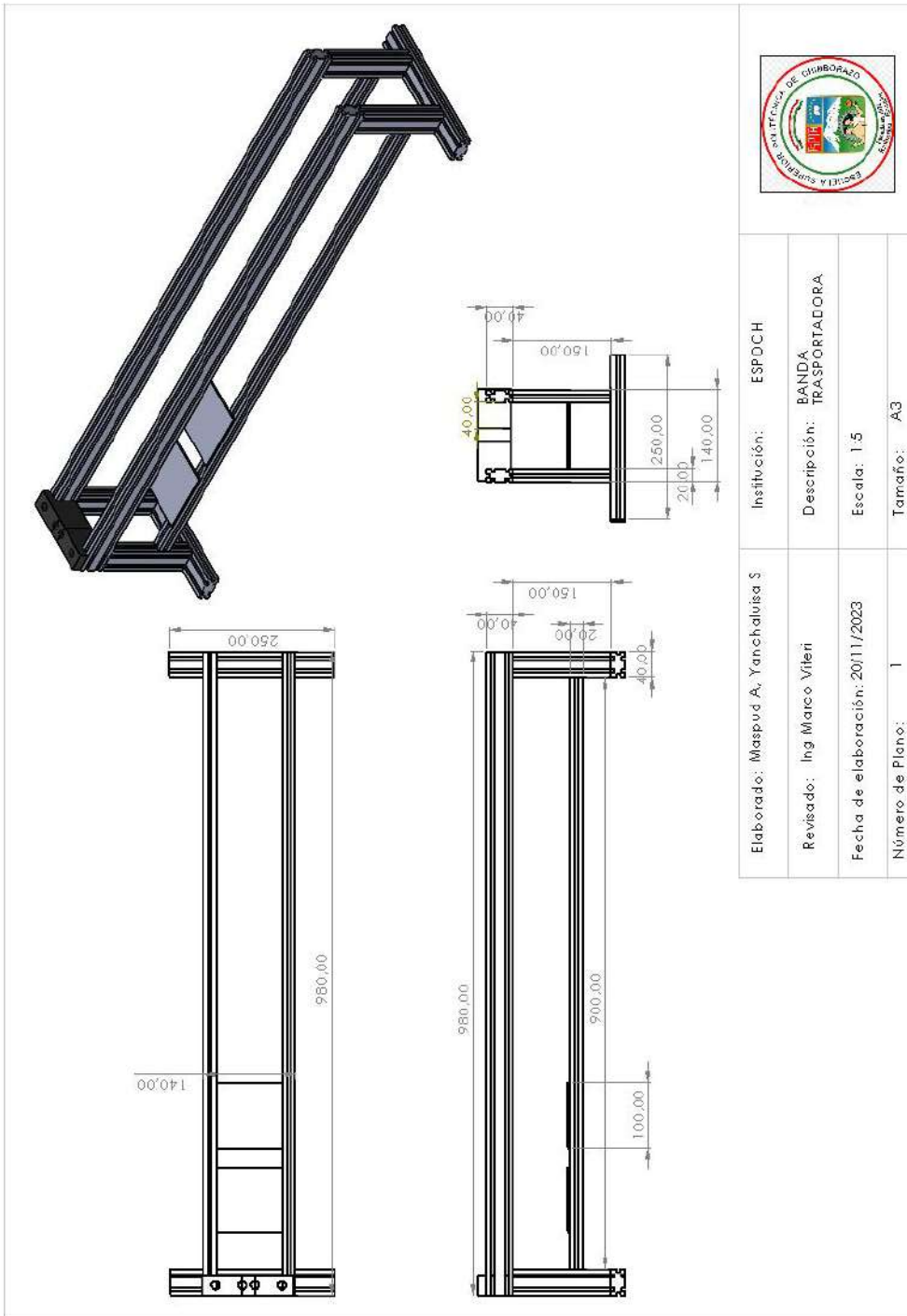




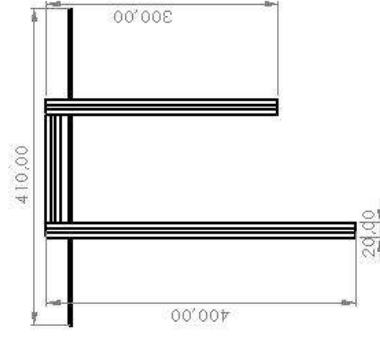
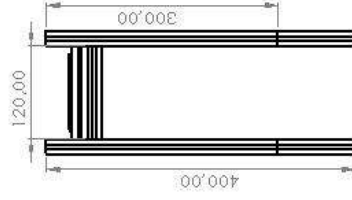
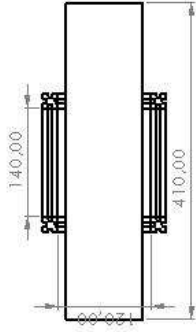
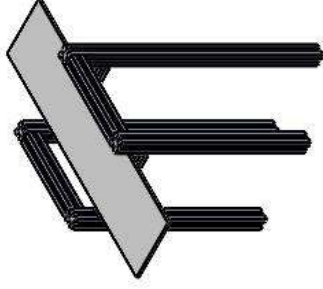




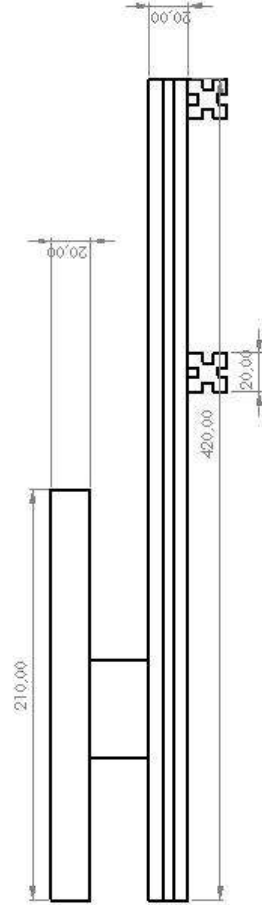
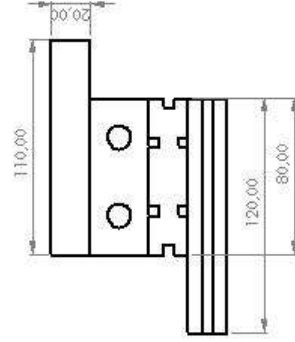
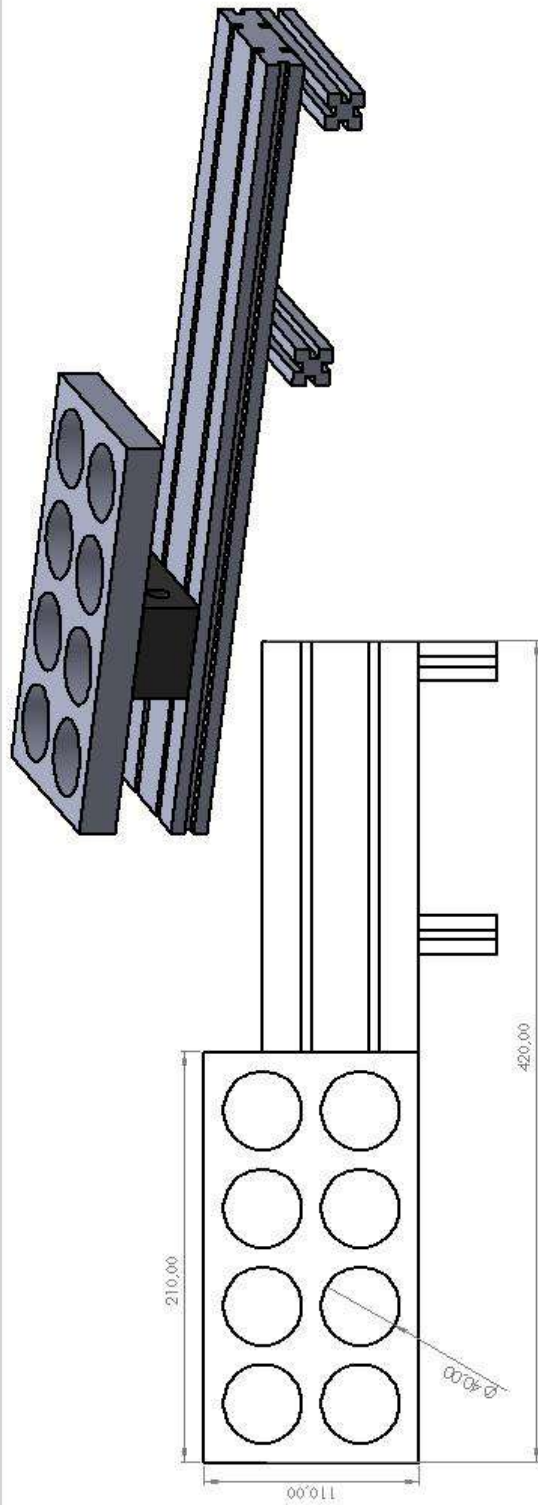
ANEXO K: PLANOS ESTRUCTURALES



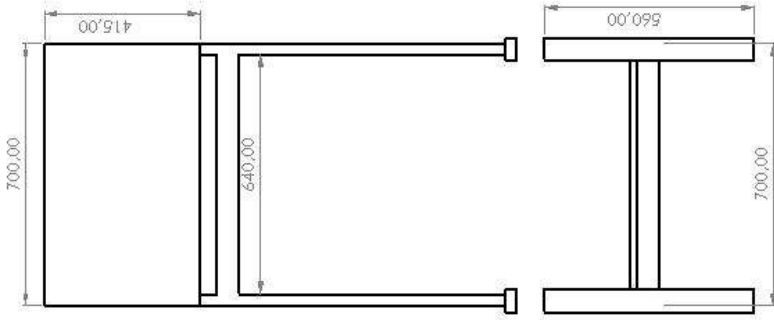
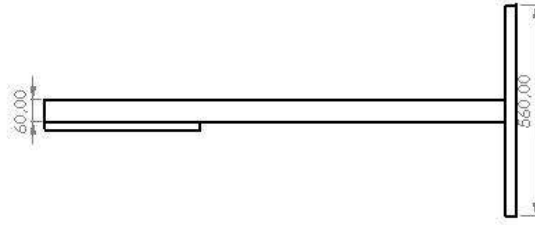
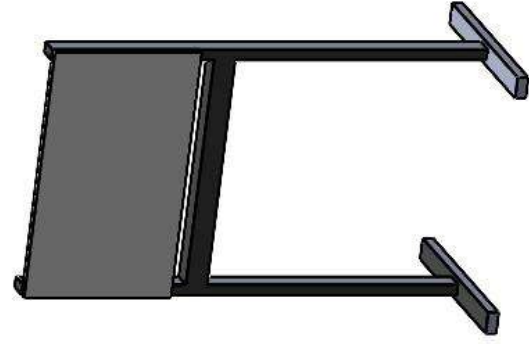
Elaborado: Maspua A., Yanchaluisa S	Institución: ESPOCH
Revisado: Ing Marco Viteri	Descripción: BANDA TRANSPORTADORA
Fecha de elaboración: 20/11/2023	Escala: 1:5
Número de Plano: 1	Tamaño: A3



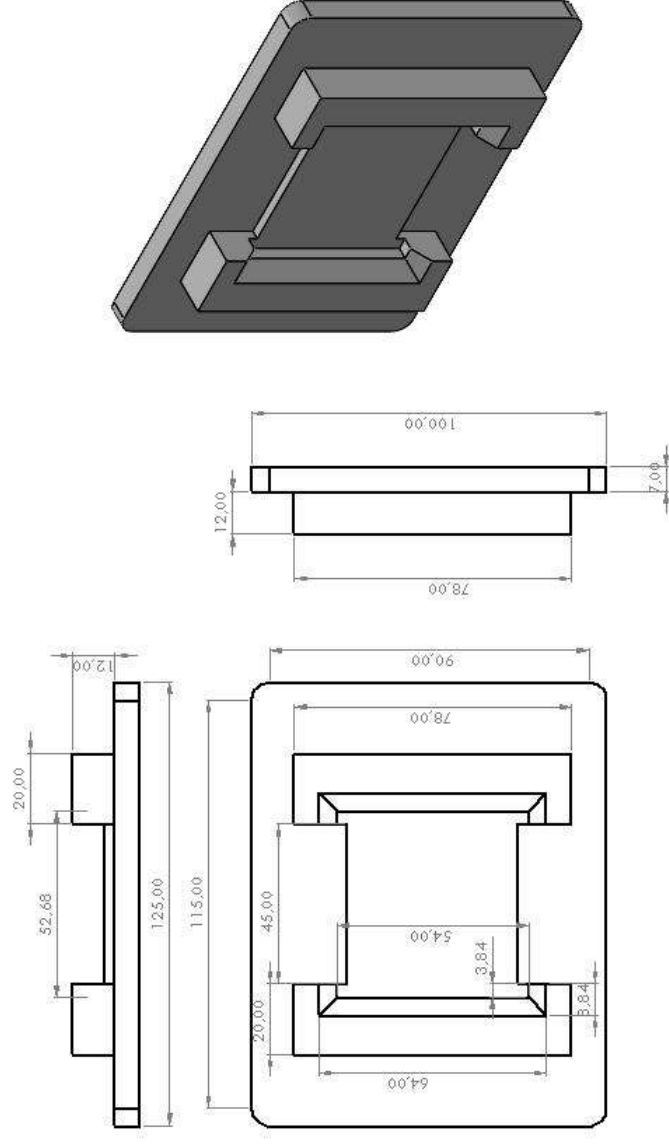
Elaborado: Maspud A, Yanchaluisa S	Institución: ESPOCH
Revisado: Ing. Marco Viteri	Descripción: SOPORTE SUPERIOR
Fecha de elaboración: 23/11/2023	Escala: 1:5
Número de Plano: 2	Tamaño: A3



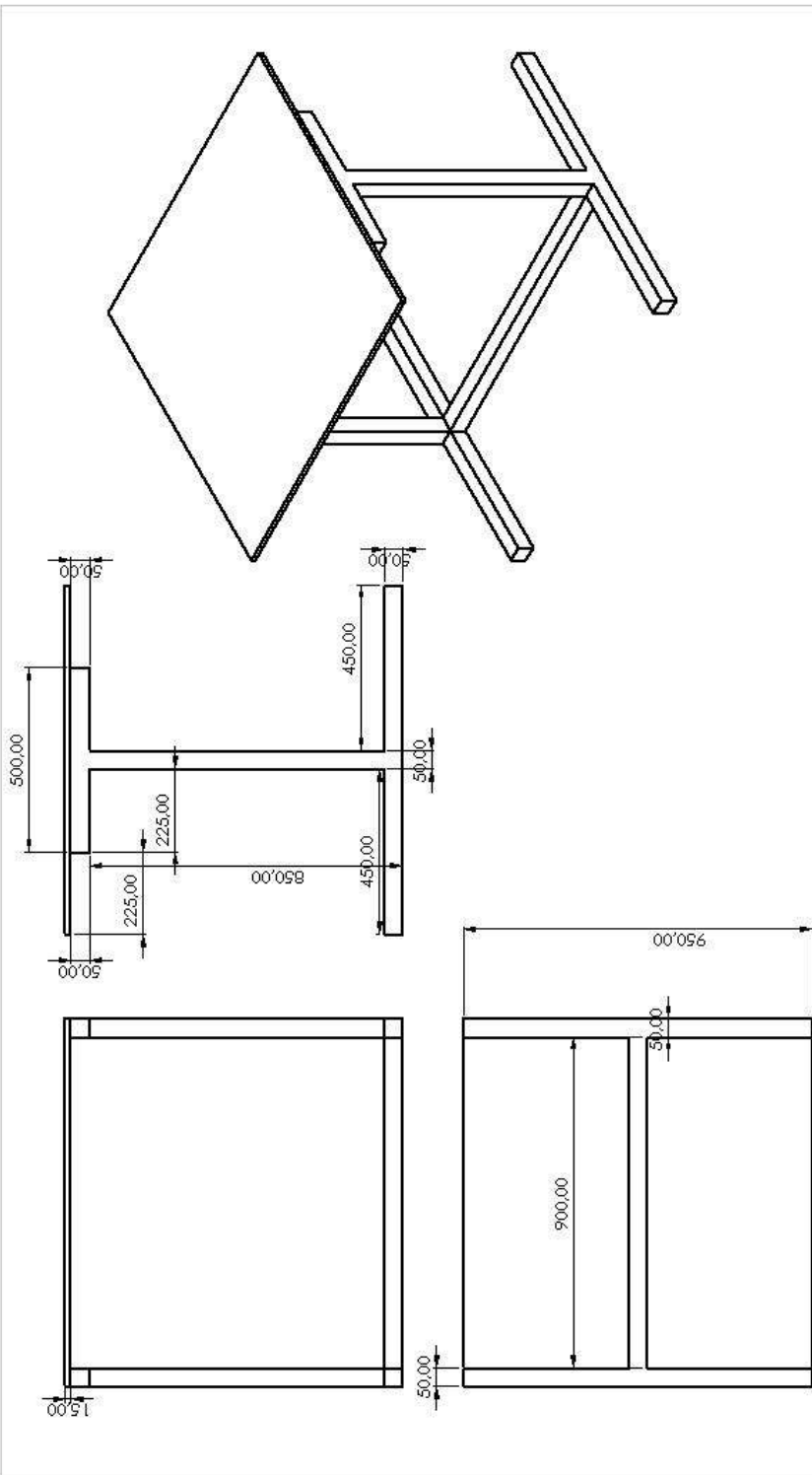
Elaborado: Maspud A, Yanchalusa S.	Institución: ESPOCH
Revisado: Ing. Marco viteri	Descripción: ALMACEN
Fecha de elaboración: 23/11/2023	Escala: 1:2
Número de Plano: 3	Tamaño: A3



Elaborado: Maspud A. Yanchalviza S	Institución: ESPOCH
Revisado: Ing. Marco Viteri	Descripción: TABLERO DE CONTROL
Fecha de elaboración: 12/12/2023	Escala: 1:10
Número de Plano: 4	Tamaño: A3



Elaborado: Maspuj A. Yanchaluisa S	Institución: ESPOCH
Revisado: Ing. Marco Viteri	Descripción: PALLET
Fecha de elaboración: 10/01/2024	Escala: 1:1
Número de Plano: 5	Tamaño: A3

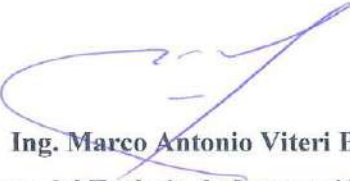
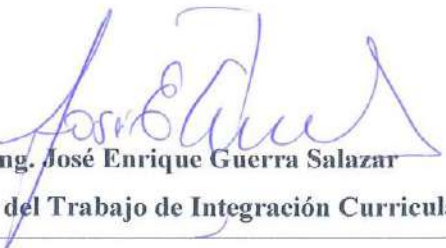


Elaborado: Maspud A. Yanchaluisa S	Institución: ESPOCH
Revisado: Ing. Marco Viteri	Descripción: MESA
Fecha de elaboración: 24/01/2024	Escala: 10:1
Número de Plano: 6	Tamaño: A3



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 28/03/2024

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES
Nombres – Apellidos: Alexis Paúl Maspud Castro Stalyn José Yanchaluisa Sánchez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Informática y Electrónica
Carrera: Electrónica y Automatización
Título a optar: Ingeniero en Electrónica y Automatización
<p style="text-align: center;"> Ing. Marco Antonio Viteri Barrera Director del Trabajo de Integración Curricular</p> <p style="text-align: center;"> Ing. José Enrique Guerra Salazar Asesor del Trabajo de Integración Curricular</p>