



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA
PROCESOS DE FOSFATADO, LAVADO Y PINTURA DE
CARROCERÍAS EN LA LÍNEA DE FABRICACIÓN DE
AUTOBUSES**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

JIMMY ALDIVAR ALDAZ PARCO

EDISON GEOVANNY REMACHE PILATAXI

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA
PROCESOS DE FOSFATADO, LAVADO Y PINTADO DE
CARROCERÍAS EN LA LÍNEA DE FABRICACIÓN DE
AUTOBUSES**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: JIMMY ALDIVAR ALDAZ PARCO

EDISON GEOVANNY REMACHE PILATAXI

DIRECTOR: ING. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Jimmy Aldivar Aldaz Parco, Edison Geovanny Remache Pilataxi

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, Jimmy Aldivar Aldaz Parco y Edison Geovanny Remache Pilataxi, 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, 13 de noviembre de 2023



Jimmy Aldivar Aldaz Parco

210077079-7




Edison Geovanny Remache Pilataxi

060445520-4

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 PROCESOS DE FOSFATADO, LAVADO Y PINTURA DE CARROCERÍAS EN LA LÍNEA DE FABRICACIÓN DE AUTOBUSES**” realizado por el señor: **JIMMY ALDIVAR ALDAZ PARCO** y el señor: **EDISON GEOVANNY REMACHE PILATAXI**, 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. Ángel Patricio Mena Reinoso PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-11-13
Ing. Marco Antonio Viteri Barrera DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-13
Ing. María Belén Paredes Regalado ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-13

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Doraliza Parco y Carlos Aldaz por su amor y apoyo incondicional en cada paso que he dado en mi vida, quienes me enseñaron el valor del trabajo, la responsabilidad y a nunca darme por vencido, a mis hermanos por siempre ser un ejemplo en quienes guiarme, a mi hermano Xavier Aldaz que se encuentra en el cielo, a mi esposa Giustinne Lliguin quien es mi compañera de vida y quien se ha convertido en mi apoyo y motivación día a día.

Jimmy A.

A mis padres que han sido el motor fundamental para lograr lo que eh anhelado, a mis hermanos que me han guiado y protegido siempre en esta vida, que a pesar de todas las dificultades han luchado y mostrado valor para seguir de pie, es por y para ustedes todo mi esfuerzo.

Edison R.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a mis padres por incentivar-me a nunca darme por vencido en terminar mi carrera, a mis hermanos por siempre apoyarme, a mi esposa Giustinne Lliguin por acompañarme desde el primer día con estudiante de mi carrera, a mis compañeros por estar en cada una de las batallas que hemos tenido que cruzar a lo largo de la carrera.

Jimmy A.

A Dios por darme fortaleza y seguir de pie en el trascurso de mi vida universitaria para así lograr lo que un día me propuse, a mis padres que, con su apoyo incondicional y ejemplo a seguir, hicieron de su hijo una persona con valores y que lucha ante las adversidades de la vida para así culminar un sueño más, a aquellas personas que formaron parte de mi vida diaria y estudiantil que me apoyaron durante mi recorrido por la ESPOCH. Por último, a mi tutor que con su conocimiento y paciencia fue guía para realizar esta investigación.

Edison R.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1	Antecedentes	2
1.2	Justificación teórica	3
1.3	Justificación aplicativa.....	4
<i>1.3.1</i>	<i>Etapa segmento de banda transportadora.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Etapa de Fosfatado y Lavado</i>	<i>5</i>
<i>1.3.3</i>	<i>Etapa de Pintura</i>	<i>5</i>
<i>1.3.4</i>	<i>Etapa de secado</i>	<i>5</i>
1.4	Objetivos	7
<i>1.4.1</i>	<i>Objetivo General.....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>7</i>

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO	8
2.1	Proceso de fosfatado de carrocerías.....	8
<i>2.1.1</i>	<i>Ventajas del proceso de fosfatado en carrocerías.....</i>	<i>9</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Tipos de fosfatos utilizados en el tratamiento de carrocerías</i>	<i>10</i>
2.2	Proceso de lavado de carrocería.....	10
2.3	Proceso de pintura de carrocerías	10
2.4	Automatización Industrial.....	11
<i>2.4.1</i>	<i>Jerarquías del proceso de automatización industrial.</i>	<i>11</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Nivel de campo.</i>	<i>12</i>
<i>2.4.3</i>	<i>Nivel de control.</i>	<i>12</i>

2.4.4	<i>Nivel de Supervisión</i>	12
2.4.5	<i>Nivel de operación</i>	12
2.4.6	<i>Nivel de gestión</i>	13
2.4.7	<i>Sistema de automatización rígida</i>	13
2.4.8	<i>sistema de automatización flexible</i>	13
2.4.9	<i>Sistemas de control</i>	13
2.5	Sistemas de control de lazo abierto	13
2.6	Sistemas de control de lazo cerrado	14
2.7	Controladores de acción	15
2.8	Comunicación Industrial	16
2.8.1	<i>Bus de Campo</i>	17
2.8.2	<i>Modelo CIM (Computer Integrated Manufacturing)</i>	18
2.8.3	<i>Red Proceso</i>	18
2.8.4	<i>Red Campo</i>	18
2.8.5	<i>Red célula</i>	19
2.8.6	<i>Red Planta</i>	19
2.8.7	<i>Red Factoría</i>	19
2.9	Sistemas de comunicación	19
2.9.1	<i>AS-I</i>	19
2.9.2	<i>Sistema Modbus</i>	20
2.9.3	<i>Sistema ProfiNet</i>	21
2.9.4	<i>Sistema Profibus</i>	23
2.10	Controlador Lógico Programable (PLC)	24
2.10.1	<i>Estructura general de un PLC</i>	25
2.10.2	<i>Funcionamiento general de un PLC</i>	26
2.10.3	<i>Lenguajes de programación que soporta un PLC</i>	27
2.10.4	<i>Principales marcas de un PLC</i>	27
2.11	Manipuladores neumáticos industriales	29
2.11.1	<i>Tipos de manipuladores neumáticos</i>	29
2.11.2	<i>Manipulador neumático y-z tipo pick and place</i>	30
2.11.3	<i>Estructura del manipulador neumático y-z tipo pick and place</i>	30
2.12	Sensores	31
2.12.1	<i>Tipos de sensores</i>	31
2.12.2	<i>Sensor inductivo</i>	32
2.12.3	<i>Sensor Capacitivo</i>	32
2.12.4	<i>Sensor magnético</i>	33

2.12.5	<i>Criterio de selección de sensores</i>	33
2.12.6	<i>Comparativa de sensores para la detección de materiales.</i>	34
2.13	Control de un proceso de temperatura	35
2.13.1	<i>Escalas termométricas</i>	35
2.13.2	<i>Controladores de temperatura</i>	36
2.13.3	<i>Controlador ON/OFF</i>	36
2.13.4	<i>Controlador proporcional</i>	37
2.13.5	<i>Controlador proporcional-integral (PI)</i>	37
2.13.6	<i>Controlador proporcional-integral-derivativo (PID)</i>	37
2.14	Sensores de temperatura	37
2.15	Motores usados en la automatización industrial	39
2.15.1	<i>Motor de corriente continua</i>	39
2.15.2	<i>Motor paso a paso</i>	40
2.15.3	<i>Motor de Corriente Alterna</i>	41
2.16	Controlador para motor	43
2.17	Sistema HMI (Human Machine Interface) – SCADA	44
2.17.1	<i>Componentes del sistema SCADA</i>	44
2.17.2	<i>Ventajas del sistema SCADA</i>	45
2.17.3	<i>Funciones del sistema SCADA</i>	45
2.17.4	<i>HMI</i>	46

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	48
3.1	Requerimientos del proceso	49
3.1.1	<i>Especificación de requerimientos del proceso</i>	49
3.1.2	<i>Requerimientos generales</i>	49
3.1.3	<i>Etapa del segmento banda transportadora.</i>	50
3.1.4	<i>Etapa de fosfatado y lavado.</i>	50
3.1.5	<i>Etapa de pintado.</i>	51
3.1.6	<i>Etapa de secado.</i>	51
3.1.7	<i>Concepción del proceso.</i>	51
3.2	Diseño mecánico y ensamblaje estructura del módulo didáctico	52
3.2.1	<i>Representación mecánica de etapa de la banda transportadora.</i>	52
3.2.2	<i>Representación mecánica de etapa de fosfatado y lavado.</i>	53
3.2.3	<i>Representación mecánica de etapa de pintado y secado.</i>	55

3.2.4	<i>Ensamblaje estructural y diagrama PI&D</i>	56
3.3	Diseño neumático del módulo didáctico.	57
3.3.1	<i>Selección de los elementos neumáticos.</i>	57
3.3.2	<i>Electroválvula XCPC 4V110-06</i>	57
3.3.3	<i>Cilindro de doble vástago TAILONZ TN10X75-S</i>	59
3.3.4	<i>Diagrama esquemático del funcionamiento de los actuadores.</i>	59
3.4	Selección de componentes hardware	60
3.4.1	PLC WECON LX5S	60
3.4.2	<i>Partes del PLC WECON LX5S</i>	61
3.4.3	<i>Conexión de entradas y salidas</i>	62
3.4.4	<i>Elementos hardware de la etapa de la banda transportadora</i>	64
3.4.5	<i>Elementos hardware de la etapa de fosfatado y lavado.</i>	70
3.4.6	<i>Elementos hardware de la etapa de pintado.</i>	76
3.4.7	<i>Elementos hardware de la etapa de secado.</i>	79
3.5	Diseño eléctrico y control para implementación del módulo didáctico.	82
3.5.1	<i>Consumo de corriente del módulo didáctico.</i>	83
3.5.2	<i>Dimensionamiento de conductores eléctricos</i>	84
3.5.3	<i>Breaker LS 6A</i>	85
3.6	Diseño eléctrico de las etapas que conformar el módulo didáctico.	86
3.6.1	<i>Etapa de banda transportadora</i>	86
3.6.2	<i>Etapa de fosfatado y lavado</i>	87
3.6.3	<i>Etapa de pintado</i>	89
3.6.4	<i>Etapa de secado</i>	90
3.7	Estructura de programación y configuración del módulo didáctico.	91
3.7.1	<i>Programación del PLC en Wecon PLC Editor2</i>	94
3.7.2	<i>Selección del PLC</i>	94
3.7.3	<i>Introducción a la programación en Wecon PLC Editor2</i>	94
3.7.4	<i>Programación Ladder en el entorno de Wecon PLC Editor2</i>	96
3.7.5	<i>Direccionamiento de comunicación en Wecon PLC Editor2</i>	97
3.7.6	<i>Diseño de HMI/SCADA en PISudio</i>	99
3.7.7	<i>Selección de la pantalla HMI y comunicación</i>	99
3.7.8	<i>Introducción al entorno de diseño HMI/SCADA de PISudio</i>	100
3.7.9	<i>Direccionamiento de comunicación en PISudio</i>	102
3.7.10	<i>Diseño del HMI/SCADA</i>	103

CAPÍTULO IV

4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	105
4.1	Prueba t de Student	105
4.2	Pruebas de funcionalidad de los principales sensores presentes en cada etapa del proceso	107
4.2.1	<i>Calibración sensores inductivos</i>	107
4.2.2	<i>Sensor magnético etapa de fosfatado y lavado</i>	108
4.2.3	<i>Sensor magnético del vástago en la posición A0</i>	109
4.2.4	<i>Sensor magnético del vástago en la posición A1</i>	110
4.3	Regulación de las velocidades de los motores pasos a paso presentes en el proceso	110
4.3.1	<i>Calibración de la velocidad del motor paso a paso de la banda transportadora</i> ...	111
4.3.2	<i>Calibración de la velocidad del motor paso a paso del actuador neumático, etapa de fosfatado y lavado</i>	112
4.4	Tamaño de muestra	113
4.4.1	<i>Etapa de la banda transportadora</i>	113
4.2.2	<i>Etapa de fosfatado y lavado</i>	114
4.2.3	<i>Etapa de Pintado</i>	115
4.2.4	<i>Etapa de secado</i>	116
4.3	Prueba de Normalidad de datos	117
4.4	Prueba de wilcoxo	118
4.5	Prueba t student	119
4.6	Proceso total	119
4.7	Inmersión de la carrocería	121
4.8	Pruebas del controlador de temperatura	122

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES	124
---------------------------	-----

RECOMENDACIONES	125
------------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Características principales que forman parte del protocolo de comunicación industrial AS-I.	20
Tabla 2-2: Características principales que forman parte del protocolo de comunicación industrial Modbus.....	21
Tabla 2-3: Características principales que forman parte del protocolo de comunicación industrial ProfiNet	22
Tabla 2-4: Características principales que forman parte del protocolo de comunicación industrial Profibus.	23
Tabla 2-5: Principales características de las diferentes marcas de PLC.....	28
Tabla 2-6: Criterios de selección de sensores.	33
Tabla 2-7: Comparación de las principales características de los sensores capacitivo, inductivo y magnético.	34
Tabla 2-8: Comparativa de las escalas termométricas Celsius, Fahrenheit, Reaumur y Kelvin.	36
Tabla 2-9: Comparativa de las termocuplas existentes en el mercado, usados en la industria de la automatización.....	38
Tabla 2-10: Hardware del segmento banda transportadora.....	42
Tabla 2-11: Principales paquetes HMI/SCADAS comerciales y sus fabricantes	46
Tabla 3-1: Parámetros y medidas del diseño de la banda transportadora.	53
Tabla 3-2: Parámetros y medidas de las piezas utilizadas en el diseño estructural de la etapa de fosfatado y lavado.....	54
Tabla 3-3: Parámetros y medidas de las piezas utilizadas en el diseño estructural de la etapa de las etapas de pintado y secado.	56
Tabla 3-4: Descripción técnica de la electroválvula AIRTAC4V110-06	58
Tabla 3-5: Principales características del cilindro vástago doble TN16X10S.	59
Tabla 3-6: Descripción de los elementos neumáticos de fosfatado y lavado.....	60
Tabla 3-7: Descripción de componentes del PLC Wecon LX5S	62
Tabla 3-8: Hardware del segmento banda transportadora.....	69
Tabla 3-9: Hardware etapa de fosfatado y lavado.....	75
Tabla 3-10: Hardware etapa de pintado.	79
Tabla 3-11: Hardware etapa de secado.	82
Tabla 3-12: Consumo de corriente de los elementos que comprenden el módulo didáctico.	83
Tabla 3-13: Principales características del breaker LS. 6A	85

Tabla 3-14: Conexiones en PLC Wecon LX5S para etapa de la Banda Transportadora.....	86
Tabla 3-15: Conexión Generador de Pulsos y Driver TB6600 para la etapa de la Banda Transportadora.....	87
Tabla 3-16: Tabla de conexión PLC Wecon LX5S para la etapa de fosfatado y lavado.....	88
Tabla 3-17: Tabla de conexión Generador de Pulsos y Driver TB6600 para la etapa de la fosfatado y lavado.....	88
Tabla 3-18: Tabla de conexión PLC Wecon LX5S para la etapa de Pintura.....	90
Tabla 3-19: Tabla de conexión controlador ITC-100VL de etapa de Secado.	91
Tabla 3-20: Disposición de entradas, memorias y salidas del proceso.	93
Tabla 3-21: Descripción de comandos principales del PLC LX5S.....	95
Tabla 4-1: Calibración del sensor inductivo de acuerdo a las distancias permitidas.	107
Tabla 4-2: Calibración del sensor magnético.....	108
Tabla 4-3: Calibración del sensor magnético del actuador en la posición A0	109
Tabla 4-4: Calibración del sensor magnético presente en el actuador en la posición A1.	110
Tabla 4-5: Velocidad del motor con respecto a la variación de la frecuencia.....	111
Tabla 4-6: Velocidad del motor paso a paso con respecto a la variación de la frecuencia.....	112
Tabla 4-7: Tiempo de ejecución de la etapa de la banda trasportadora.....	113
Tabla 4-8: Tiempo de ejecución del proceso de fosfatado y lavado.	114
Tabla 4-9: Tiempo de ejecución del proceso de pintado de la carrocería.	115
Tabla 4-10: Tiempo de ejecución de la etapa de secado de la carrocería.....	116
Tabla 4-11: Prueba Shapiro-Wilks.....	118
Tabla 4-12: Resumen de contrastes de hipótesis.....	118
Tabla 4-13: Prueba t student.	119
Tabla 4-14: Prueba realizada para 20 carrocerías.	120
Tabla 4-15: Toma de datos del porcentaje de inmersión de la carrocería	122
Tabla 4-16: Toma de datos del grado de temperatura presente en la etapa de secado de la carrocería.	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Maqueta tentativa del módulo didáctico de aprendizaje propuesto por los tesistas.	6
Ilustración 1-2:	Diagrama de bloques para el módulo didáctico de aprendizaje propuesto.....	6
Ilustración 2-1:	Pirámide de la automatización, sus elementos principales y tiempos de respuesta.	12
Ilustración 2-2:	Diagrama de control de lazo abierto.....	14
Ilustración 2-3:	Diagrama de control de lazo cerrado.....	14
Ilustración 2-4:	Comunicación industrial mediante Control centralizado.	16
Ilustración 2-5:	Comunicación industrial mediante Control Distribuido.....	17
Ilustración 2-6:	Comunicación Industrial: a) Sin utilizar bus de campo b) utilizando bus de campo.	17
Ilustración 2-7:	Pirámide CIM.....	18
Ilustración 2-8:	Diagrama generalizado de un PLC.....	25
Ilustración 2-9:	Manipulador neumático Y-Z pick and place.....	30
Ilustración 2-10:	Sensor inductivo.....	32
Ilustración 2-11:	Sensor capacitivo.....	32
Ilustración 2-12:	Sensor Magnético.....	33
Ilustración 2-13:	Construcción interna de termocupla (sensor de temperatura).	38
Ilustración 2-14:	Motor DC.	40
Ilustración 2-15:	Motor Paso a Paso.	40
Ilustración 2-16:	Motor AC.	41
Ilustración 3-1:	Diagrama de bloques de funcionamiento del módulo.	48
Ilustración 3-2:	Diseño mecánico de la banda transportadora.	53
Ilustración 3-3:	Diseño mecánico de la etapa de fosfatado y lavado.	54
Ilustración 3-4:	Diseño mecánico etapa de pintado y secado de pintura.	55
Ilustración 3-5:	Diseño ensamblaje de las diferentes piezas de las etapas consideradas en el proyecto.....	56
Ilustración 3-6:	Diagrama PI&D del proceso.	57
Ilustración 3-7:	a) Símbolo neumático de la electroválvula, b) Válvula monoestable 5vias 2 posiciones XCPC.....	58
Ilustración 3-8:	a) Cilindro vastago doble de doble efecto TAILONZ, b) simbolo del cilindro vastago doble.....	59
Ilustración 3-9:	Diagrama esquemático neumático de la etapa de fosfatado y lavado.	60

Ilustración 3-10:	Partes del PLC WECON LX5S 1616MR.....	61
Ilustración 3-11:	Diagrama de cableado de las entradas del PLC WECON LX5S	63
Ilustración 3-12:	Diagrama de cableado de las salidas del PLC WECON LX5S.....	63
Ilustración 3-13:	Demostración de cableado del PLC Wecon.	64
Ilustración 3-14:	PLC WECON LX5S 1616MR.	65
Ilustración 3-15:	Fuente de alimentación 24VDC a 5A.....	65
Ilustración 3-16:	Pulsadores de inicio, paro y seta de emergencia	66
Ilustración 3-17:	Motor NEMA 23 23HS30-2804S.....	66
Ilustración 3-18:	Driver TB6600.	67
Ilustración 3-19:	Generador de pulsos PWM ZK-SMC02	67
Ilustración 3-20:	Sensor Inductivo no rasante de 3 hilos.....	68
Ilustración 3-21:	Módulo y cable de comunicación DB9.	68
Ilustración 3-22:	Mando de control del módulo didáctico.....	69
Ilustración 3-23:	Elementos Hardware utilizados en el montaje de la etapa de la Banda transportadora.....	70
Ilustración 3-24:	Motor paso a paso FSK30 JE300T02.....	70
Ilustración 3-25:	Generador de pulsos PWM.	71
Ilustración 3-26:	Sensor magnético de 2 hilos CS1-U.....	72
Ilustración 3-27:	Electroválvula de 5 vías y 2 posiciones XCPX 4V110-06.....	72
Ilustración 3-28:	Cilindro neumático vástago doble TN10X75-S.	73
Ilustración 3-29:	Pinza neumática MHZ2-16D.	74
Ilustración 3-30:	Cable de comunicación DB25.....	74
Ilustración 3-31:	Elementos Hardware utilizados en el montaje de la etapa de fosfatado y lavado.	76
Ilustración 3-32:	Ventilador 24 VDC para pre-secado.....	76
Ilustración 3-33:	Motor con actuador lineal IP60-50, Aerógrafo TRUPER 3PZS	77
Ilustración 3-34:	Circuito de reductor de voltaje de 24 VDC A 12VDC.	78
Ilustración 3-35:	Relé de potencia a 24 VDC.	78
Ilustración 3-36:	Elementos hardware utilizados en el montaje de la etapa de Pintado	79
Ilustración 3-37:	Controlador de temperatura PID ITC-100VL	80
Ilustración 3-38:	Termocupla tipo J.....	81
Ilustración 3-39:	Bombilla incandescente.....	81
Ilustración 3-40:	Elementos Hardware utilizados en el montaje de la etapa de secado.....	82
Ilustración 3-41:	Breaker LS 6A.....	85

Ilustración 3-42:	Circuito de conexiones de etapa de banda transportadora.....	87
Ilustración 3-43:	Circuito de conexiones de etapa de fosfatado y lavado.....	89
Ilustración 3-44:	Circuito de conexiones de etapa de pintado.	90
Ilustración 3-45:	Circuito de conexiones de etapa de secado	91
Ilustración 3-46:	Grafset del proceso de Fosfatado, Lavado y Pintura de carrocerías.....	92
Ilustración 3-47:	Selección del modelo del PLC en Wecon PLC Editor2.	94
Ilustración 3-48:	Administrador del proyecto en el entorno de Wecon PLC Editor2	96
Ilustración 3-49:	Barra de herramientas del software Wecon PLC Editor2.....	96
Ilustración 3-50:	Ejemplo de programa LD en Wecon PLC Editor2	97
Ilustración 3-51:	Ventana Device Comment del software Wecon PLC Editor2	97
Ilustración 3-52:	Ventana de compilación exitosa en el software Wecon PLC Editor2.....	98
Ilustración 3-53:	Configuración de comunicación del software Wecon PLC Editor2.....	98
Ilustración 3-54:	Cargar el programa al PLC en Wecon PLC Editor2.....	99
Ilustración 3-55:	Selección del HMI y el tipo de comunicación a usarse en el software PISstudio. 100	
Ilustración 3-56:	Barra de herramientas del software PISstudio.	100
Ilustración 3-57:	Administrador del proyecto del software PISstudio.	101
Ilustración 3-58:	Barra de objetos del software PISstudio.	101
Ilustración 3-59:	Direccionamiento de objetos en el software PISstudio.....	102
Ilustración 3-60:	Configuración de la comunicación entra el PLC y el HMI en el software PISstudio.....	102
Ilustración 3-61:	Pantalla Home de HMI/SCADA.	103
Ilustración 3-62:	Pantalla de funcionamiento automático del módulo	103
Ilustración 3-63:	Pantalla de funcionamiento manual del módulo.	104
Ilustración 4-1:	Tiempos de la prueba 1 en 20 carrocerías	121

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** DIAGRAMA LADDER DE LAS ETAPAS DE DEL MÓDULO99 EN FUNCIONAMIENTO AUTOMATICO
- ANEXO B:** DIAGRAMA LADDER DE LAS ETAPAS DE DEL MÓDULO EN FUNCIONAMIENTO MANUAL
- ANEXO C:** DIAGRAMA LADDER DEL PARO DE EMERGENCIA Y RESETEO DEL MÓDULO
- ANEXO D:** TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT
- ANEXO E:** EVIDENCIA FOTOGRAFICA
- ANEXO F:** EVIDENCIA FOTOGRAFICA DE VALIDACION DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA DEL HORNO DE SECADO.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo la implementación de un módulo didáctico para procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías en la línea de fabricación de autobuses, siendo este un módulo de fácil operatividad y de bajo costo. Para implementar el módulo se utilizó un controlador lógico programable (PLC) de la marca WECON modelo LX5S 1616MR, que recibe y procesa la información de cada sensor y actuador, se desarrolló de igual manera una interfaz de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) para visualizar el proceso y controlar el proceso de forma manual desde dicha interfaz, para transferir datos del proceso se utilizó el protocolo de comunicación Modbus. Los sensores inductivos son utilizados para la detección de las carrocerías en las diferentes etapas del proceso, en cambio los sensores magnéticos son utilizados para la detección del actuador pinck and place. Los actuadores utilizados para el transporte de las carrocerías son, un motor paso a paso, un motor paso a paso en el pórtico, un cilindro doble efecto junto con una pinza para la sujeción de las carrocerías, un ventilador de pre-secado, un motor DC junto con un aerógrafo de pintado, un controlador de temperatura para el horno de secado y electroválvulas. El módulo está compuesto de cuatro etapas complementarias empezando con la etapa de la banda transportadora, etapa de fosfatado y lavado, etapa de pintura y etapa de secado. Las pruebas realizadas para el módulo fueron de funcionalidad y de tiempos de producción dándonos tiempos de proceso total de 110.82 segundos. En conclusión, se implementó un módulo didáctico para procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías didáctico y de fácil operación, con un sistema SCADA que permite una mejor visualización del proceso y sus etapas. Se recomienda seguir la secuencia de diagramas de flujo ante posibles errores.

Palabras clave: <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS>, <AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL>, <CARROCERÍAS>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <HORNO DE SECADO>, <PINTURA DE CARROCERÍAS>, <PROCESO DE FOSFATADO Y LAVADO>, <SISTEMA SCADA>SUMEN



SUMMARY

The objective of this degree work was the implementation of a didactic module for phosphating, washing and painting processes of bodies in the bus manufacturing line as this is an easy-to-operate and low-cost module. To implement it, a programmable logic controller (PLC) from the WECON brand model LX5S 1616MR was used, which receives and processes the information from each sensor and actuator, and a supervision, control and data acquisition interface (SCADA) was also developed to visualize the process and control the process manually from that interface, the Modbus communication protocol was used to transfer process data. The inductive sensors are used to detect the bodies in the different stages of the process, however the magnetic sensors are used to detect the pick and place actuator. The actuators used to transport the bodies are a stepper motor, a stepper motor in the gantry, a double-acting cylinder together with a clamp for holding the bodies, a pre-drying fan, a DC motor together with a painting silkscreen, a temperature controller for the drying oven and solenoid valves. The module is composed of four complementary stages starting with the conveyor belt stage, phosphating and washing stage, painting stage and drying stage. The tests carried out for the module were of functionality and production times, giving us total process times of 110.82 seconds. In conclusion, a didactic module was implemented for phosphating, washing and painting processes of bodywork that was educational and easy to operate, with a SCADA system that allows a better visualization of the process and its stages. It is recommended to follow the sequence of flow charts in case of possible errors.

Keywords: <PROCESS AUTOMATION>, <INDUSTRIAL AUTOMATION>, <BODYWORKS>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <DRYING OVEN>, <BODYWORK PAINTING>, <PHOSPHATING AND WASHING PROCESS>, <SCADA SYSTEM>



Lic. Nelly Padilla P. Mgs.

0603818717

DOCENTE FIE

INTRODUCCIÓN

La industria de fabricación de autobuses ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, impulsada por la creciente demanda de transporte público y privado. En este contexto, la calidad y eficiencia en los procesos de producción son aspectos críticos para mantener la competitividad en el mercado. Uno de los procesos clave en la fabricación de autobuses es el tratamiento y pintura de sus carrocerías, donde la calidad del acabado y la protección contra la corrosión son fundamentales.

Actualmente, estos procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías se llevan a cabo de manera manual, lo que implica una fuerte inversión en mano de obra y tiempo requerido para obtener el producto final. Con el objetivo de mejorar la eficiencia y calidad en la línea de fabricación de autobuses, surge la necesidad de implementar un módulo didáctico que simule y automatice estos procesos industriales.

Este trabajo de titulación pretende desarrollar un módulo didáctico para procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías, aplicable en la línea de fabricación de autobuses. Para lograrlo, se realizará un diagnóstico exhaustivo del estado actual de desarrollo de los sistemas de tratamiento y pintura en la industria de fabricación de autobuses. Se analizarán los requerimientos técnicos y operativos para la implementación exitosa del módulo y se explorarán las diferentes técnicas de automatización disponibles para optimizar estos procesos.

La justificación teórica de este trabajo radica en la necesidad de relacionar elementos de la tercera y cuarta revolución industrial con un proceso de producción, como la banda transportadora y el control lógico programable (PLC), para mejorar la seguridad, comodidad y eficiencia en la producción industrial. Además, se empleará la simulación de procesos industriales como herramienta para analizar el impacto de modificaciones en los procesos, implementar nuevos procedimientos, evitando así cambios en el mundo real.

Desde una perspectiva aplicada, este trabajo busca implementar un sistema hardware para la simulación, investigación e instrucción de la producción en línea, automatizando los procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías de autobuses. La creación de este módulo didáctico permitirá facilitar la formación de operarios capacitados en el manejo eficiente de los equipos presentes en el proceso.

El diseño e implementación de este módulo didáctico representará un avance significativo en la industria de autobuses, al dar una solución tecnológica que mejore los procesos de tratamiento y pintura de carrocerías, optimizando recursos y garantizando un producto final de alta calidad y durabilidad. Con este objetivo en mente, se espera que este trabajo de titulación aporte al desarrollo tecnológico y educativo en el ámbito de la ingeniería electrónica y la automatización industrial.

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo, se analiza la raíz del problema que se busca abordar mediante este proyecto técnico. La relevancia de la iniciativa se expone a través de una justificación tanto teórica como aplicada. Adicionalmente, se delimitan los objetivos y se introduce la institución destinataria de la solución elaborada en el marco de esta tesis.

1.1 Antecedentes

Se han desarrollado líneas de producción desde la antigüedad, que remonta a la Revolución Industrial ocurrida a mediados del siglo XVIII, pues en aquella época se buscaba optimizar los tiempos de producción y bajar los costos. Es en ese periodo cuando se incorporan las primeras líneas en las fábricas e industrias de la época (SDIndustrial, 2022). En la actualidad gracias al constante desarrollo de la tecnología se han incorporado sistemas automatizados a las líneas de producción que permiten minimizar el tiempo de la ejecución del proceso, los costos de mano de obra y mejorar la calidad del producto.

La simulación de procesos industriales permite reproducir virtualmente los procesos y estudiar su comportamiento, para analizar el impacto de las variables que puedan intervenir en él, o comparar alternativas de diseño, sin el alto costo de los experimentos a escala real. Es de gran ayuda a la hora de disminuir los riesgos y optimizar la toma de decisiones, así como para planificar, analizar y mejorar los procesos de la empresa (VLD-ENG, 2021). Para que los equipos didácticos cumplan efectivamente su propósito de facilitar la capacitación, es imperativo conectarlos con la realidad, ya que esto favorece el proceso de aprendizaje. La efectividad del aprendizaje ha demostrado depender de la interacción prolongada con el contenido, permitiendo la comprensión real y significativa de los conceptos de estudio (Guevara, Pedro; Falcon, José; Sandoval Raúl; Mnedel, 2009).

En España en la empresa Volkswagen Navarra tiene implementado el proceso de fosfatación previo al pintado, en el proceso la carrocería sufre un baño que imprime una capa de fosfato de cinc sobre su superficie (Goñi, 2014). Los recubrimientos de fosfato son transformaciones de sustratos metálicos en nuevas superficies que tienen propiedades no-metálicas y no conductoras son ampliamente usados en la manufactura de productos metálicos por cuatro razones principales como: Para pre-acondicionar superficies que van a recibir pintura, recubrimientos plásticos, transformaciones por maquinado en frío, mejoramiento y resistencia a la corrosión, ya que proveen una buena base de agarre para ceras, aceites protectores y lubricantes. El uso más amplio de los recubrimientos de fosfato es el prolongar la vida útil de los acabados de pintura (Iguago y Cañizares, 2013).

En España se implementó un sistema de detección de Defectos en Carrocerías de Vehículos Basado en Visión Artificial: Diseño e Implantación. La principal innovación introducida por este proyecto industrial es en que el sistema detecta casi el 100% de los defectos detectados mediante inspección humana. Esto ha supuesto mejoras significativas en la reducción del número de vehículos rechazados, además de una reducción del consumo energético, pintura utilizada, del menor impacto medioambiental y por supuesto una reducción en los costes de producción. El sistema también ha supuesto una mejora de las condiciones laborales de los trabajadores al reducirse los problemas como la fatiga ocular (Tornero et al., 2012).

La pintura industrial y principalmente en el sector industrial del automóvil es uno de los ámbitos de mayor complejidad, debido a que se debe considerar aspectos como la geometría y la superficies, además que se debe tomar en cuenta beneficios con respecto a métodos tradicionales en aspectos como costes de producción, mejora de calidad y reducción de residuos, por ende se requiere de una actualización o renovación de los sistemas de pintado de carrocerías que de esta manera me permita alcanzar los objetivos de rendimiento y eficiencia (Juan, 2006).

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de carrocerías y tipos de pinturas existentes así como sus costes de aplicación es necesario la elaboración de una instalación adecuada para una correcta aplicación de la pintura, sin impurezas teniendo así acabados de calidad y satisfaciendo las normas requeridas por los fabricantes de pinturas y de esta manera satisfacer también la necesidades de los propietarios de los vehículos, para ellos en la implementación de esta estación de trabajo se debe tomar en cuenta aspectos como dimensiones, materiales de construcción, pintura, iluminación y seguridad industrial todo trabajando bajo un balance adecuado y bajo un control de un sistema unificado para garantizar de esta manera una óptica operación (González, 2006).

1.2 Justificación teórica

En el presente trabajo de titulación implementa un sistema hardware para la simulación, investigación e instrucción de la producción en línea mediante la automatización del proceso de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías, con el fin de reproducir de manera cercana a la realidad, procesos industriales que se dan en una producción en línea, a partir de la necesidad que ciertas entidades del manejo eficiente de los equipos presentes en el proceso, con el fin de relacionar elementos de la tercera y cuarta revolución industrial con un proceso de producción tales como banda transportadora, control lógico programable (PLC), motores, etc.

La automatización de los procesos de producción industrial y el control en tiempo real ofrecen soluciones tecnológicas actuales que son imprescindibles para mantener la competitividad en un mundo hiper-conectado, La unión de varios procesos que se trabajaban por separado y

automatizarlos generan mayor seguridad y comodidad para los trabajadores, disminuye grandes pesos, ayuda soportar temperaturas elevadas o gestionar de forma directa productos altamente peligrosos (Control, 2020) (Oasys, 2017)

La simulación de procesos industriales se emplea para analizar el impacto de modificaciones en los procesos, implementar nuevos procedimientos y evaluar inversiones en equipos. Esta herramienta permite evaluar el desempeño de un sistema existente o predecir el rendimiento de un sistema propuesto, al comparar distintas soluciones y diseños alternativos. La simulación se utiliza como una alternativa a las pruebas teóricas y cambios en el mundo real, los cuales pueden resultar costosos. La simulación de procesos puede medir factores como la duración de los ciclos del sistema, el rendimiento bajo diferentes cargas, la utilización de los recursos, los cuellos de botella y los puntos de estrangulamiento, las necesidades de almacenamiento, las necesidades de personal y la eficacia de los sistemas de programación y control (Mata, 2022). Además de probar y verificar nuevos medios de producción en las etapas iniciales del ciclo de vida del producto, la simulación de fabricación también se puede utilizar en instalaciones o procesos existentes para detectar ineficiencias o evaluar el impacto de la incorporación de nuevos equipos, materiales u otros cambios. (Centro de formación técnica, 2019)

1.3 Justificación aplicativa

En este trabajo de titulación implementa un sistema hardware para la simulación, investigación e instrucción de la producción en línea, automatización del proceso de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías de autobuses, para ello por los elevados costos de una implementación industrial de estas, se realizará un módulo didáctico que simule el proceso descrito anteriormente.

En el trabajo de titulación, conforme avance el proceso de implementación, los elementos del sistema se seleccionarán según los requerimientos planteados en este proyecto. Por ende, hay que considerar aspectos y parámetros relacionados con el ambiente de trabajo, así como las características de aquellos materiales eléctricos/electrónicos necesarios para su implementación correcta y que funcionen el sistema de manera adecuada.

En el hardware a implementar en el proceso de fosfatado, lavado y pintura se contará con las siguientes etapas descritos a continuación:

1.3.1 Etapa segmento de banda transportadora

Posee una línea de transporte conformado por una banda sobre la cual se montan y actúan sistemas simuladores de producción equipado con sensores de posición para detectar la ubicación de los elementos de carrocería y así detener la banda en los diferentes puntos específicos para de esta

manera poder accionar los diferentes módulos para el tratamiento de las carrocerías. La banda contara con la suficiente potencia y capacidad para mover los diferentes elementos a través de ella.

1.3.2 Etapa de Fosfatado y Lavado

Este sistema nos permite que una vez la carrocería se encuentre en la banda esta será transportada hasta llegar a la etapa mencionada donde mediante un sensor que detecta la presencia o no de la carrocería detendrá la banda transportadora y aquí empezara el proceso de fosfatado y lavado para el cual mediante un pórtico manipulador neumático y-z para lo cual contara con un motor DC (Corriente Continua) para el movimiento horizontal y un cilindro neumático para los movimientos en vertical, toma las piezas del pallet en la banda transportadora para sumergirlos dentro de las tinas de fosfatado y lavado, las piezas de la carrocería en un baño de fosfato de zinc para eliminar cualquier huella de oxidación. Luego se procede a realizar un lavado de alta presión con agua des ionizada para eliminar los depósitos de fosfato y garantizar la adherencia de la capa de pintura al metal. Esta operación se realiza por inmersión total de la carrocería en una solución acuosa caliente que contiene fosfatos ácidos. Esta fosfatación es del tipo microcristalina de zinc, y asegura una resistencia superior a la corrosión y mayor adherencia de la pintura que la fosfatación habitual con hierro, se controlará con sensores que me permiten controlar más el proceso haciéndolo más preciso.

1.3.3 Etapa de Pintura

Este sistema nos permite que una vez la carrocería haya pasado por la etapa de fosfatado y lavado la carrocería este nuevamente situada en el pallet de la banda transportadora esta será movida a la etapa donde será pintada, para ello se controla el movimiento mediante un sensor que detectara la posición de la carrocería, una vez el pallet situado en esta etapa entrara en una cámara de pintado y secado de la carrocería para de esta manera tener al terminar esta etapa tener el producto terminado.

1.3.4 Etapa de secado

En esta última etapa del módulo presentado se basa el secado de la pintura del producto terminado, para ello se implementará un control PID que me permite reducir errores y proporcionar precisión y estabilidad en el proceso. Lo hace utilizando acciones integrales y derivadas. De esta forma, elimina errores de desviación de control y gestiona movimientos rápidos del proceso dándonos de esta manera un ajuste de la temperatura a un valor de ajuste seteado.

- **Bosquejo esquemático del módulo**

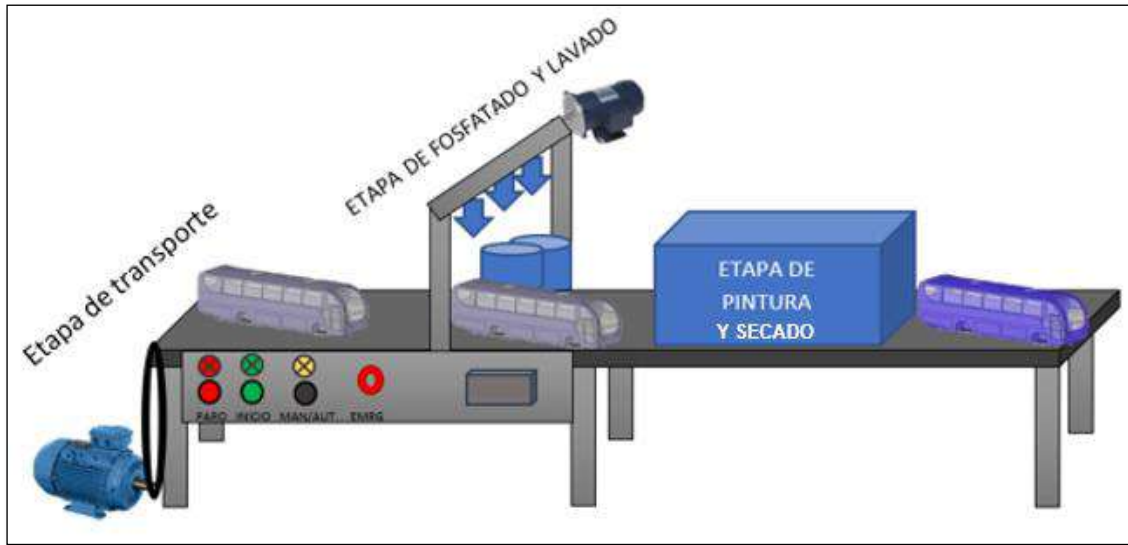


Ilustración 1-1: Maqueta tentativa del módulo didáctico de aprendizaje propuesto por los tesisistas.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

- **Diagrama de Bloque del Módulo Didáctico**

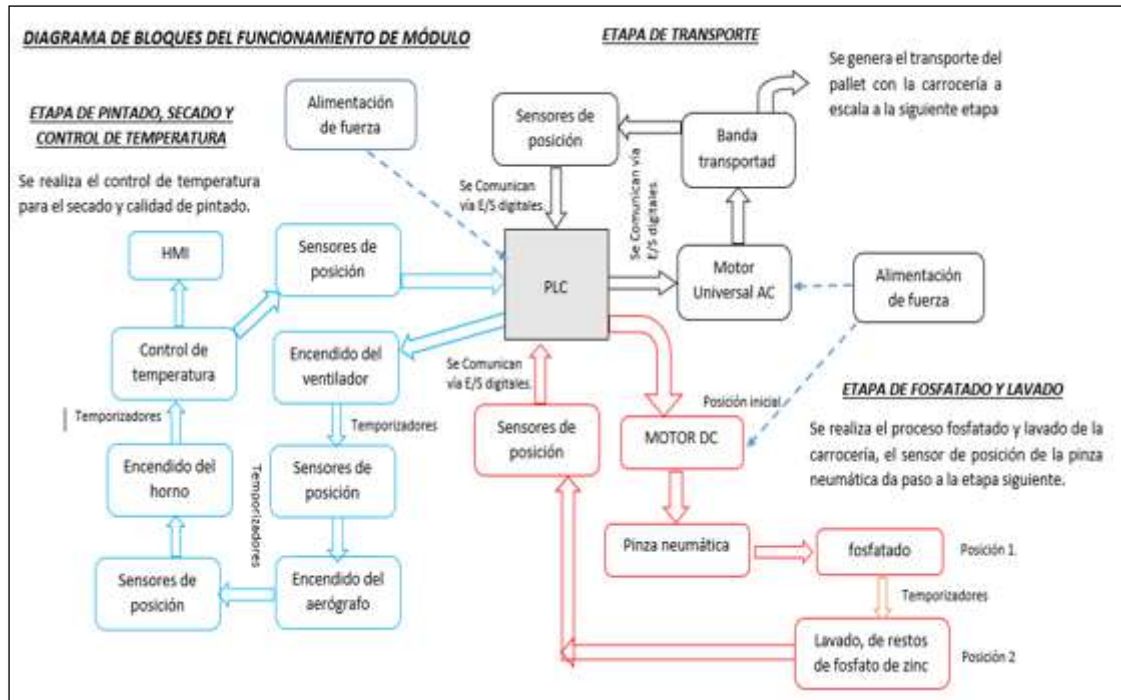


Ilustración 1-2: Diagrama de bloques para el módulo didáctico de aprendizaje propuesto.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Implementar un módulo didáctico para procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías en la línea de fabricación de autobuses.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Determinar el estado del arte de sistemas automatizados para el proceso de fosfatado, lavado y pintado de carrocerías de autobuses.
- Especificar los requerimientos para el desarrollo de un sistema automatizado para el proceso de fosfatado, lavado y pintado de carrocerías de autobuses.
- Implementar el sistema automatizado para procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías de autobuses.
- Evaluar el funcionamiento del módulo implementado según los requerimientos planteados.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

En la actualidad en nuestro país la automatización de los procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías es realizado de manera manual, llegando a representar estas actividades una fuerte inversión en personal encargada de este tipo de procedimientos, así como un mayor tiempo requerido para obtener el producto final.

El presente trabajo de titulación pretende tomar todos estos procesos de tratamiento y pintura de carrocería y automatizarlos para que su funcionamiento requiera de la mínima intervención humana, para ello se propone las siguientes etapas del proyecto: 1) etapa de banda transportadora: la cual se encargara del transporte de la carrocería a lo largo de las diferentes etapas con las que consta el sistema; 2) Etapa de Fosfatado: este proceso es aplicado a la carrocería con el fin de quitar cualquier rastro de corrosión y ofrece una protección sobre la misma; 3) Etapa de Lavado: es la encargada que quitar cualquier tipo de impureza que pueda contenerse en la carrocería y que pudiera intervenir en la correcta adherencia de la pintura en la carrocería; 4) Etapa de Pintura: en esta etapa se procede a la pintura de la carrocería mediante un soplete conectado en la cabina de pintura; 5) Etapa de Secado: Para entregar el producto final la carrocería es sometida a calor para darle un terminado totalmente seco. La automatización de estos procesos me permite ahorrar en inversión, mano de obra, tiempo de trabajo y entregando de esta manera un producto final de mejor calidad, garantizando así mayor eficiencia en la producción industrial de pintura de carrocerías.

2.1 Proceso de fosfatado de carrocerías

El proceso de fosfatado en carrocerías es una técnica de tratamiento de superficies metálicas que se utiliza ampliamente en la industria automotriz y otros sectores industriales. Consiste en la formación de una capa de fosfato sobre la superficie de la carrocería de acero u otros metales ferrosos. Esta capa de fosfato da ventajas importantes, lo que lo convierte en un paso esencial en la preparación previo a la pintura de carrocerías (Rela, 2010)(Callister William 2014). A continuación, se detalla el proceso de fosfatado y sus ventajas:

- Limpieza y desengrase: El proceso de fosfatado comienza con una limpieza exhaustiva y desengrase de la superficie de la carrocería. Esto asegura que no haya partículas de polvo, suciedad, aceites, grasas u otros contaminantes que puedan afectar la adhesión del fosfato (Elias-Espinosa et al., 2015).

- Fosfatado químico: Una vez que la superficie está limpia, se sumerge en una solución acuosa que contiene fosfatos, ácidos y otros aditivos. Esta solución química reacciona con el metal de la carrocería, formando una capa de fosfato sobre la superficie. La capa de fosfato suele ser cristalina y muy adherente al metal (Rela, 2010).
- Enjuague final: Después del fosfatado, se realiza un enjuague final para eliminar cualquier exceso de solución química o residuos de fosfato.

2.1.1 Ventajas del proceso de fosfatado en carrocerías

- Mejora la adherencia de la pintura: La capa de fosfato proporciona una superficie rugosa y altamente adherente que favorece la unión de la pintura a la carrocería. Esto garantiza que la pintura se adhiera de manera más efectiva y duradera, evitando descamaciones y desprendimientos prematuros (Callister William 2014).
- Aumenta la resistencia a la corrosión: La capa de fosfato actúa como una barrera protectora contra la corrosión y la oxidación del metal. Proporciona una mayor resistencia a la humedad, productos químicos y otros agentes corrosivos, lo que aumenta la vida útil de la carrocería (Callister William 2014).
- Uniformidad en la apariencia: El fosfatado proporciona una superficie uniforme y homogénea que mejora la apariencia estética de la carrocería. Esto es especialmente importante en la industria automotriz, donde la calidad visual de los vehículos es un factor crucial para la satisfacción del cliente.
- Facilita la aplicación de imprimaciones y pinturas: La superficie fosfatada ofrece una base ideal para la aplicación de imprimaciones y pinturas, lo que mejora la eficiencia y calidad en el proceso de pintura.
- Proceso respetuoso con el medio ambiente: El fosfatado es un proceso químico que usa fosfatos de baja toxicidad, lo que lo hace más amigable con el medio ambiente que con otros tratamientos de superficie.

En resumen, el proceso de fosfatado en carrocerías es esencial para preparar adecuadamente la superficie de la carrocería antes de la pintura, mejorando la adherencia de la pintura, proporcionando resistencia a la corrosión y garantizando un acabado de alta calidad y durabilidad. Estas ventajas hacen que el fosfatado sea ampliamente utilizado en la industria automotriz y otros sectores industriales que requieren acabados de superficie de alta calidad.

2.1.2 Tipos de fosfatos utilizados en el tratamiento de carrocerías

En el tratamiento de carrocerías, se utilizan principalmente tres tipos de fosfatos: fosfato de zinc, fosfato de hierro y fosfato de manganeso. Cada tipo de fosfato ofrece características y beneficios en cuanto a resistencia a la corrosión, adherencia de la pintura y durabilidad del recubrimiento.

- Fosfato de zinc: fosfato más usado en carrocerías. Proporciona una capa de fosfato de zinc cristalina y densa que ofrece una excelente resistencia a la corrosión y una buena adherencia de la pintura.
- Fosfato de hierro: Proporciona una capa de fosfato de hierro amorfo que resiste la corrosión y una aceptable adherencia de la pintura. El fosfato de hierro es utilizado en aplicaciones donde se busca un tratamiento de menor costo y no se requiere la máxima resistencia a la corrosión.
- Fosfato de manganeso: El fosfato de manganeso es menos común en el tratamiento de carrocerías, pero ofrece una alta resistencia a la corrosión y una excelente adherencia de la pintura.

2.2 Proceso de lavado de carrocería

El lavado y preparación adecuada de las carrocerías antes de la pintura es crucial para obtener un acabado de alta calidad y duradero. El objetivo principal del proceso de lavado de carrocerías es garantizar que la superficie esté completamente limpia y libre de impurezas antes de aplicar cualquier recubrimiento o pintura. Algunas técnicas de lavado y preparación de superficies son el lavado a presión, lavado con solventes, decapado y desengrasado (Yew et al., 2013).

Existen varios sistemas y equipos de lavado de carrocerías que pueden utilizarse, desde sistemas manuales hasta sistemas automatizados. Algunos de los equipos comunes son lavadoras a presión, cabinas de lavado y sistemas de desengrasado.

2.3 Proceso de pintura de carrocerías

El proceso de pintura de carrocería es una etapa crucial en la fabricación de vehículos y en la restauración de automóviles. Este proceso tiene como objetivo aplicar una capa de pintura que no solo mejore la apariencia estética del vehículo, sino que también brinde protección contra la corrosión y los agentes atmosféricos.

Las ventajas de los sistemas automatizados en el proceso de pintura de carrocería incluyen una mayor eficiencia y velocidad de producción, una mayor precisión en la aplicación de la pintura, una mayor consistencia en el acabado y una reducción de los residuos de pintura. Además, los

sistemas automatizados pueden mejorar la seguridad en el lugar de trabajo, ya que reducen la exposición de los trabajadores a productos químicos y vapores de pintura.

2.4 Automatización Industrial.

En los últimos años la necesidad de mejorar los procesos industriales siguiendo la tendencia de automatizar de manera progresiva los procesos productivos de todo tipo, constituyéndose así como un pilar para la competitividad en el sector productivo, esto se ha venido dando gracias al desarrollo de diversas tecnologías necesarias para controlar los procesos industriales, cumpliendo así los objetivos de mejorar la calidad de los productos, abasteciendo la demanda de mercado en los tiempos requeridos, mejorando la productividad y reduciendo costes; estos objetivos han pasado a ser inclusive una necesidad y siendo requisitos indispensables para mantener una competitividad en el mercado actual (Llopis, Romero y Ariño, 2010).

La automatización es un conjunto de métodos y procesos que aplicados a la industria que permiten sustituir la mano de obra humana en la ejecución de un servicio o fabricando un producto ya sea de poca o mucha dificultad con el objetivo de mejorar la calidad y productividad en una empresa, evitando que el ser humano realice tareas tediosas, peligrosas o insalubres.

Para la automatización de cualquier proceso industrial se debe tener la completa seguridad y certeza de dicha intervención resultara favorable para el proceso y la empresa.

En definitiva, la automatización de un proceso industrial (máquina, conjunto o equipo industrial) es la integración de un conjunto de elementos y dispositivos técnicos que aseguren su control y buen comportamiento (Procesos, 2021). Uno de los objetivos deseados es que la automatización pueda reaccionar ante situaciones esperadas, y que el proceso y el personal que lo apoya se coloquen en la posición más favorable ante eventos inesperados. (García Moreno, 2020)

2.4.1 Jerarquías del proceso de automatización industrial.

La automatización se aplica a distintos niveles del proceso productivo en función a su cercanía o lejanía con el proceso. la pirámide de la automatización es una estructura jerárquica que representa las diferentes capas de un sistema de automatización industrial, desde el nivel más bajo de los dispositivos de campo hasta el nivel más alto de la integración de la información en los sistemas empresariales. La automatización es importante porque permite una visión clara y jerarquizada de los elementos de un sistema industrial y ayuda a las empresas a tomar decisiones más informadas sobre la integración de los sistemas de automatización en su estrategia empresarial. En la Ilustración 2-1: se presenta la pirámide de la automatización donde se visualizan los elementos principales de cada nivel y su tiempo de respuesta.

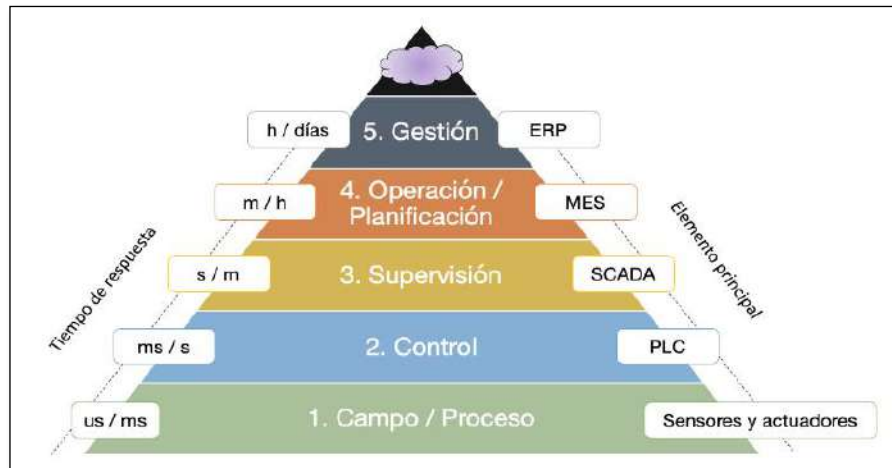


Ilustración 2-1: Pirámide de la automatización, sus elementos principales y tiempos de respuesta.

Fuente: (Brunete, San Segundo y Herrero, 2021).

2.4.2 Nivel de campo.

En este nivel encontramos a los actuadores, sensores y otros elementos de hardware que interactúan directamente con el proceso que me permitan adquirir datos e información del proceso para su posterior análisis

2.4.3 Nivel de control.

En este nivel encontramos a los autómatas programables, computadores, controladores numéricos, etc. También son conocidos como controladores de máquina (Barrientos y Gamboa, 2014)

2.4.4 Nivel de Supervisión.

En este nivel encontramos a los sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)), de igual mane interfaces hombre-máquina, permitiendo supervisar los datos del proceso a través de interfaces de usuario y para posteriormente ser almacenados en bases de datos (Barrientos y Gamboa, 2014).

2.4.5 Nivel de operación.

En este nivel se monitoriza todo el proceso desde la materia prima hasta el producto terminado, permitiendo a la gerencia ver qué sucede en la planta y les permite tomar decisiones en base a esa información. Este nivel suele utilizar un sistema de gestión informática conocido como MES (Manufacturing Execution System) (Barrientos y Gamboa, 2014).

2.4.6 Nivel de gestión.

Este nivel utiliza el sistema de gestión integrado de las empresas que se conoce como ERP (Enterprise Resource Planning), permitiendo a la empresa monitorizar todos los niveles desde la fabricación, ventas, compras y finanzas logrando así el control y planificación de producción (Brunete, San Segundo y Herrero, 2021).

2.4.7 Sistema de automatización rígida.

Este sistema se usa en la producción de productos iguales, con una secuencia de operaciones fijadas en las maquinas, y este sistema de automatización se utiliza en la fabricación de productos de alta demanda de un solo producto y requiere de una gran inversión inicial compensada con una alta productividad.

2.4.8 sistema de automatización flexible.

También se denomina programable y permite cambiar el producto fabricado con un cambio en las ordenes de control, en la secuencia de operación con un cambio en la programación o sustituyendo ciertas herramientas, este sistema de automatización requiere de una alta inversión en sistemas y permite cambiar el diseño con un nivel de productividad media (Barrientos y Gamboa, 2014).

2.4.9 Sistemas de control.

En la industria, sistema de control es utilizado para controlar y regular el comportamiento de un proceso o sistema en el ámbito industrial. Estos sistemas pueden incluir hardware y software para monitorear, medir y controlar diversos elementos de una planta o proceso de producción. También pueden ser utilizados para optimizar el rendimiento de la producción y garantizar la seguridad de los empleados al monitorear el flujo de materiales y la operación de la maquinaria (Meinsa, 2022).

2.5 Sistemas de control de lazo abierto.

Los sistemas de control en configuración de lazo abierto prescinden de una retroalimentación, lo que implica una disminución de su capacidad de precisión y estabilidad. A pesar de estas limitaciones, mantienen su utilidad en contextos específicos en los cuales la exactitud no se convierte en un factor crítico determinante. El funcionamiento del sistema de control de lazo abierto se basa exclusivamente en la influencia ejercida sobre el proceso mediante el empleo de información preexistente sobre el sistema (Electronic, 2022). por ejemplo: para el control de una caldera se dispone de una válvula de entrada, la cual posibilita el ingreso de combustible con el fin de modular el flujo térmico dentro del proceso, también dispone de un sensor de temperatura local (salida) lo que permite llevar un seguimiento de la magnitud interna del depósito, además,

se ve influenciado por un flujo adicional que llega al contenedor portando consigo una temperatura específica (Electronic, 2022), presente en la Ilustración 2-2:.

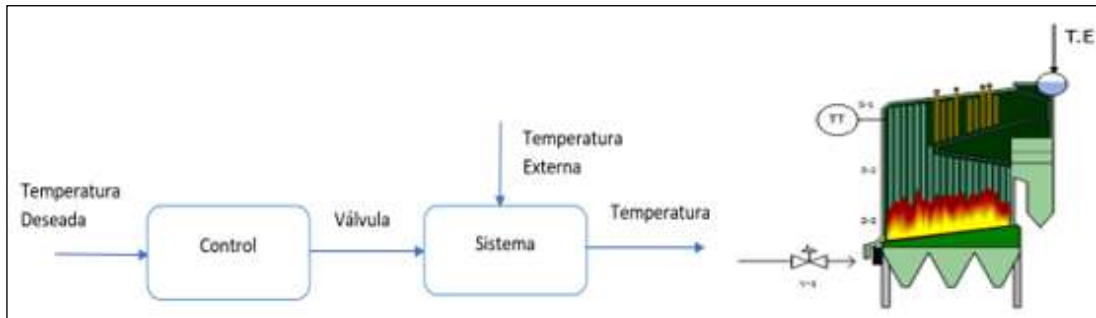


Ilustración 2-2: Diagrama de control de lazo abierto.

Fuente: (Electronic, 2022)

Realizado por: Aldaz Parco, Jimmy & Remache Pilataxi, Edison, 2023.

2.6 Sistemas de control de lazo cerrado.

Los sistemas de control en configuración de lazo cerrado son extensivamente empleados en diversos procesos industriales con el propósito de supervisar y dirigir procedimientos automatizados. Un sistema de control en lazo cerrado, denominado también sistema de control con feedback, hace uso de una señal de retroalimentación para contrastar el resultado esperado (setpoint) con el resultado presente, efectuando ajustes al proceso de manera consecuyente. Esto conlleva a una mayor exactitud y estabilidad en comparación con los sistemas de control de tipo lazo abierto (Electronic, 2022). Por ejemplo: Al control de la caldera descrita en el ejemplo anterior de lazo abierto se agrega una retroalimentación y un valor de setpoint, en esta configuración el controlador mantiene constante conocimiento del valor de la temperatura en tiempo real, lo que le otorga la capacidad de intervenir en el funcionamiento de la válvula siempre que sea necesario (Electronic, 2022). Como se muestra en la Ilustración 2-3:.

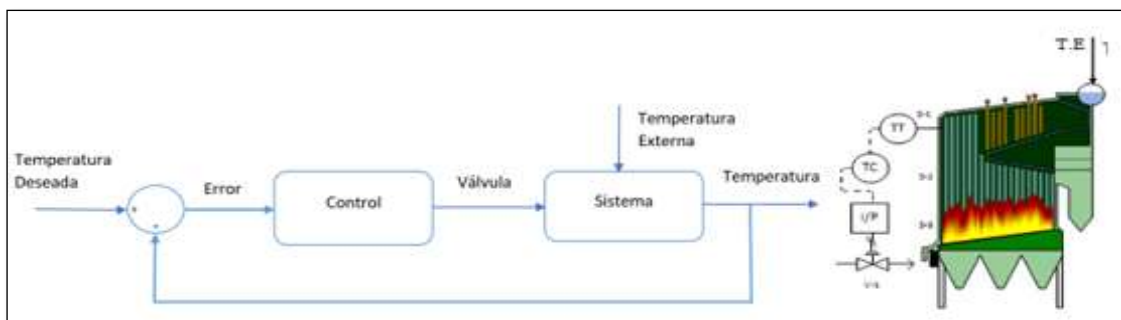


Ilustración 2-3: Diagrama de control de lazo cerrado.

Fuente: (Electronic, 2022)

Realizado por: Aldaz Parco, Jimmy & Remache Pilataxi, Edison, 2023.

2.7 Controladores de acción.

Un sistema de control está constituido por acciones básicas de control que dan respuesta a la demanda del proceso para disminuir la brecha entre la salida deseada y la salida real, integrando un controlador que amplifique, integre o derive las señales de la entrada o desarrolle una comparación entre algunas de estas acciones. Los controladores de acción que por lo general se integran dentro de un proceso son:

- **Control Proporcional (P).** La acción de control es directamente proporcional a la señal de error $e(t)$. Internamente, la acción proporcional amplifica la señal de error mediante una constante K_p que determina la magnitud de la influencia proporcional ejercida por el controlador. Esta acción de control se orienta a la reducción del error inherente al sistema. En situaciones de error considerable, la acción de control asume valores significativos, buscando la minimización de dicho error (Picuino, 2020).
- **Control Integral (I).** Realiza el cálculo de la integral de la señal de error $e(t)$ y procede a multiplicarla por la constante K_i . La integral puede ser concebida como la acumulación o suma de la señal de error. Con el transcurso del tiempo, pequeños errores se suman gradualmente, incrementando progresivamente la contribución de la acción integral. Esta estrategia busca atenuar el error del sistema en condición de estado estacionario. No obstante, la utilización de la acción integral presenta una desventaja en la forma de introducir una cierta inercia al sistema, lo que conlleva a una mayor inestabilidad en su comportamiento (Picuino, 2020).
- **Control Derivativo (D).** La acción de control se encuentra relacionada con la derivada de la señal de error $e(t)$, la cual es multiplicada por la constante K_d . La derivada del es otra forma de llamar a la "velocidad" del error. Esta modalidad de control resulta útil para mitigar oscilaciones excesivas en la respuesta del sistema; incrementar el valor de la constante derivativa K_d tiende a conferir estabilidad al sistema bajo control, generando una reducción marginal en la velocidad del sistema y manteniendo inalterado el error en estado estacionario (Picuino, 2020).
- **Control Proporcional-Integral-Derivativo (PID).** Es una estrategia de control que combina tres componentes: el control proporcional, el control integral y el control derivativo. El control proporcional es proporcional al error actual, mientras que el control integral es proporcional a la integral del error pasado y el control derivativo es proporcional a la derivada del error actual. La combinación de estos tres componentes en un algoritmo PID se utiliza para ajustar el proceso de un sistema de control para alcanzar una señal de salida deseada (Omega, 2020).

2.8 Comunicación Industrial

Hoy la industria requiere de comunicaciones entre sistemas, procesos e instalaciones, siendo uno de los pilares fundamentales necesarios para alcanzar el nivel de competitividad exigido.

Hasta hace algunos años el control industrial se realizaba mediante lógica cableada y relés electromecánico, donde para una modificación se requería un cambio a sus conexiones haciendo de esta manera su flexibilidad completamente nula; con la aparición de los autómatas programables también conocidos como PLC (*Programmable Logic Controllers*). Permitió reducir la cantidad de material para controlar una máquina, ya que con un cambio en su programación permite modificar su funcionamiento sin necesidad de cambios físicos (Valdivia Miranda, 2019).

Las comunicaciones industriales se realizan mediante un control centralizado, véase la Ilustración 2-4:, donde todas las señales de control deberán pasar por un único controlador haciendo que este tipo de control sea fácil de mantener y no hay problemas de compatibilidad entre elementos de control, pero presenta inconvenientes ya que si el sistema falla.

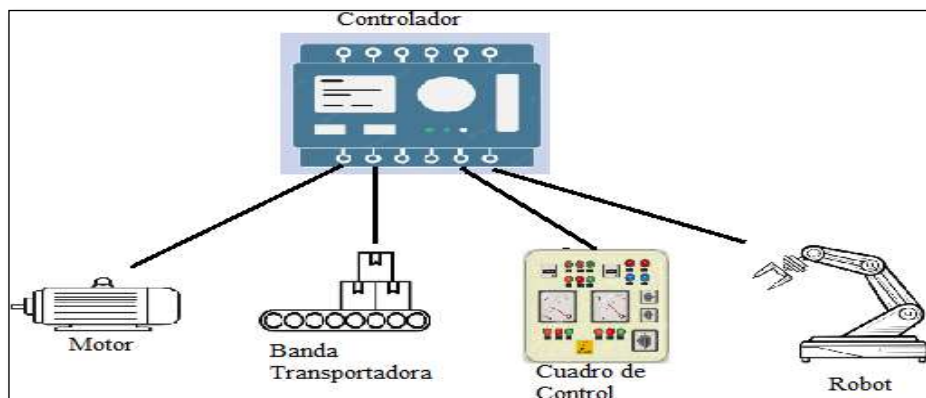


Ilustración 2-4: Comunicación industrial mediante Control centralizado.

Fuente: (Valdivia Miranda, 2019).

Realizado por: Aldaz Parco, Jimmy & Remache Pilataxi, Edison, 2023.

Las comunicaciones se pueden realizar con un control distribuido, véase la Ilustración 2-5:, donde se realiza con controladores conectados entre sí creando una red de comunicación llamada bus de campo que trabajan con protocolo de comunicación, pero más flexible y extenso que el centralizado, almacenado su información y permitido acceder desde cualquier nivel.

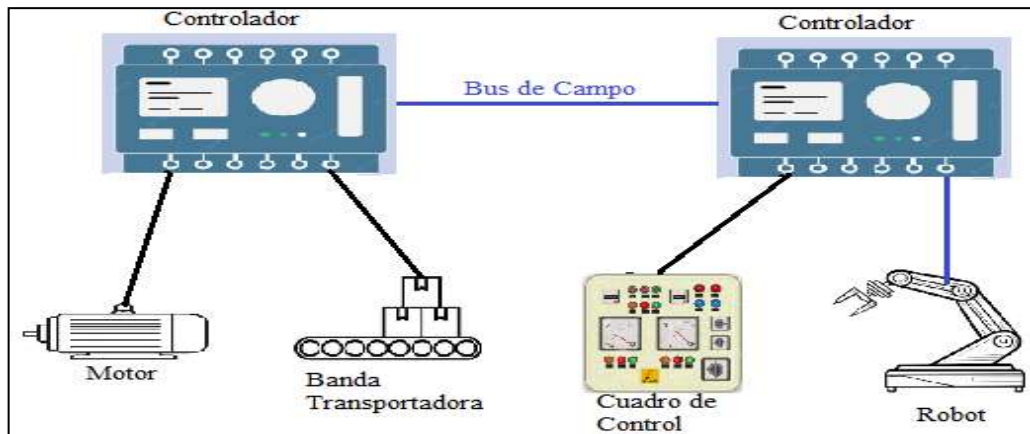


Ilustración 2-5: Comunicación industrial mediante Control Distribuido.

Fuente: (Valdivia Miranda, 2019).

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

2.8.1 Bus de Campo

Un bus de campo es un sistema de dispositivos de campo (sensores y actuadores) y dispositivos para el control, que comparten un bus digital serie bidireccional y que entre estos transmiten información, sustituyendo a la convencional transmisión de información analógica punto a punto. Permitiendo sustituir el cableado para las conexiones entre los elementos de campo y los controladores como se observa en la Ilustración 2-6:, garantizando bajos costes y tiempos de respuesta mínimos. (Rosado, 2009)

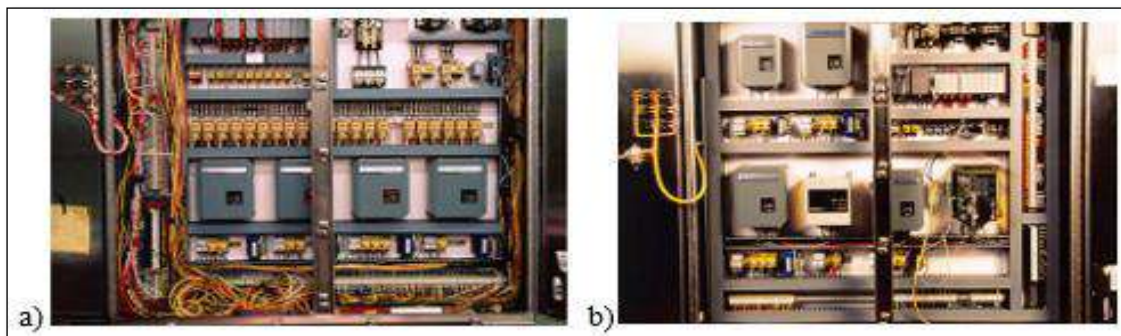


Ilustración 2-6: Comunicación Industrial: a) Sin utilizar bus de campo b) utilizando bus de campo.

Fuente:(Hurtado, [sin fecha])

El bus de campo debe gestionar la información en mensajes cortos de forma eficiente, manejar tráfico de eventos discretos, poseer mecanismos de control de error, transmitir mensajes prioritarios, poder recuperarse rápidamente a eventos anormales en la red y responder rápidamente a los mensajes recibidos. Para las comunicaciones a nivel de célula y de campo no

existe una norma única por lo que podría resultar difícil integrar equipos de distintos fabricantes, entre las principales tenemos: ASi, Profibus, Profinet, Modbus, Interbus, ControlNet, etc.

2.8.2 Modelo CIM (Computer Integrated Manufacturing)

Los sistemas de comunicación industriales en los procesos de producción son implementados en base a modelos jerárquicos siendo la pirámide CIM (*computer integrated manufacturing*) representada en la Ilustración 2-7; uno de estos modelos y siendo también el más extendido en la actualidad. Este modelo de automatización jerárquico utiliza tecnologías informáticas para cada etapa del proceso de producción al cual se esté implementando, este modelo recolecta información de cada actividad y los relaciona entre sí para formar un bloque único. (Valdivia Miranda 2019)

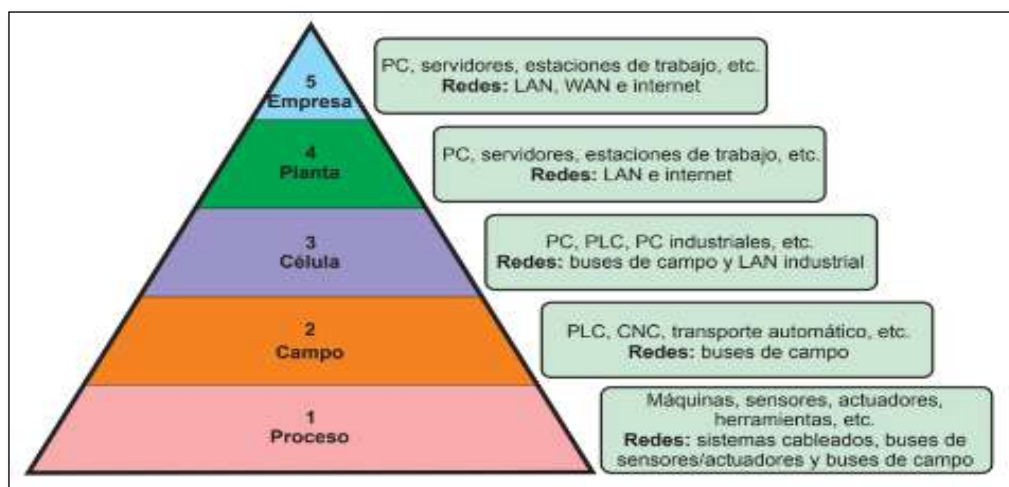


Ilustración 2-7: Pirámide CIM.

Fuente: (Valdivia Miranda 2019)

2.8.3 Red Proceso

En todo proceso de automatización en la industria contamos con un sinnúmero de elementos que requieren uno o algunos bits de información (entrada y salida) para trabajar, este es el nivel más bajo de la pirámide de la automatización y trabaja con poca información (pocos bits) a gran velocidad y su gestión es relativamente sencilla y de bajo coste haciendo servir el mismo medio tanto para alimentar a los elementos de campo como para transmitir la información mediante comunicaciones cíclicas (Rodríguez Penin 2008).

2.8.4 Red Campo

Es la que comunica las instalaciones y los elementos de control, también permite comunicar los elementos de control de maquinaria y el nivel de célula. Utiliza técnicas de transmisión de

información muy eficientes, capaces de trabajar en tiempo real mediante comunicaciones cíclicas y acíclicas. Las redes de bus de campo (niveles superiores) incorporan la capa de aplicación, que permiten implementar rutinas de control además proporciona seguridad intrínseca a los elementos (Rodríguez Penin 2008).

2.8.5 Red célula

Este nivel es el que se encarga de procesar las tareas de automatización, contando con los controladores, PCs y equipos de visualización por ende la transferencia de información es alta, aumentando el tamaño de los paquetes de información y el tiempo de tránsito de esta información haciendo que la importancia este ya no en la velocidad sino en la seguridad de la información (Rodríguez Penin 2008).

2.8.6 Red Planta

Procesa las tareas de nivel corporativo, implicando grandes cantidades de información. En este nivel se puede acceder a todos los puntos de la res como pueden ser a la recolección de los datos del proceso y transmitir nuevas consignas de producción. Los equipos usados son PCs, equipos informáticos desde donde se accede al exterior mediante redes de área amplia (Wan). (Rodríguez Penin 2008).

2.8.7 Red Factoría

Es el nivel más alto de la pirámide de la automatización y es el encargado de redes de oficina, contabilidad y administración, ventas, gestión, etc. El volumen de la información que se llegan a intercambiar en este nivel es muy alto y los tiempos de respuesta no son críticos (Valdivia Miranda 2019).

2.9 Sistemas de comunicación

Un sistema de comunicación industrial es un mecanismo de transferencia de datos o información entre diferentes niveles de la pirámide de automatización y es necesario para realizar tareas de control y gestión en el proceso.

2.9.1 AS-I

El sistema AS-Interface (Actuador Sensor-Interface) es un sistema diseñado para transmitir alimentación y datos mediante un cable bifilar a distancias de hasta 100 m, con capacidad de 31 a 62 esclavos con una velocidad de 5 ms y 10 ms respectivamente, cada red AS-i lo controla un

maestro que realiza los procesos de configuración y monitorización del bus automáticamente (Rodríguez Penin 2008).

En resumen, AS-Interface (AS-I) es un protocolo de comunicación industrial utilizado para conectar dispositivos de entrada y salida en sistemas de automatización industrial. Utiliza un bus de dos hilos para enviar y recibir datos entre dispositivos, lo que permite la conexión de muchos dispositivos sin la necesidad de utilizar grandes cantidades de cableado. Es muy fácil de instalar y configurar, robusto y tolerante a interferencias electromagnéticas, lo que lo hace ideal para ambientes industriales hostiles y a continuación en la Tabla 2-1: se presentan las principales características de este protocolo de comunicación.

Tabla 2-1: Características principales que forman parte del protocolo de comunicación industrial AS-I.

Característica	Descripción
Tipo de red	Bus de dos hilos
Velocidad de transmisión de datos	Hasta 167 kbps
Topología de red	Topología de red en estrella, anillo y línea
Longitud máxima del cable	Hasta 100 metros
Capacidad de dispositivos	Soportar hasta 62 dispositivos en una sola red
Modos de transmisión	Dúplex completo
Compatibilidad	Compatible con diferentes dispositivos de campo
Diagnóstico	Ofrece diagnóstico en tiempo real Detección y corrección de problemas
Flexibilidad de conexión	Permite la conexión de diferentes tipos de dispositivos
Tolerancia a fallos	Capaz de detectar automáticamente fallas en la comunicación Cuenta con mecanismos de recuperación automática
Facilidad de instalación	Fácil de instalar y configurar
Costo	Protocolo económico y fácil de implementar

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

2.9.2 Sistema Modbus

Es un protocolo de comunicación Maestro-Eslavo y Cliente-Servidor capaz de transmitir señales analógicas, digitales y registros, para ello los modos de transmisión de información es mediante

ASCII y RTU, para transmitir mensajes utiliza direcciones validas que van desde 0 al 247 esclavo dejando la dirección 0 para mensajes de broadcast (Rodríguez Penin 2008).

En la Tabla 2-2: se presenta una tabla con las principales características del protocolo de comunicación Modbus.

Tabla 2-2: Características principales que forman parte del protocolo de comunicación industrial Modbus

Denominación	Modbus RTU/ASCII, Modbus Plus, Modbus TCP/IP
Soporte	Modbus-IDA
Comunicación	Maestro/Esclavo o Cliente Servidor
Medio	Par trenzado, RS-232, SR-485
Topología	BUS, estrella, árbol
Elemento	Modbus: 32 nodos y 64 segmentos RTU/ASCII: 250 nodos por segmento
Distancia	TCP/IP: 100 m RTU/ASCII: 350 m
Datos	RTU/ASCII: 0-254 bytes TCP/IP: 1500 bytes
Velocidad	RTU/ASCII: 300 b/s TCP/IP: 100 Mb/s
N. esclavos	0-247, dirección 0 para broadcast

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

2.9.3 Sistema ProfiNet

Profinet es un protocolo de comunicación industrial basado en Ethernet que permite la comunicación en tiempo real entre dispositivos en una red industrial. Hoy se ha convertido en un estándar de comunicación industrial. Profinet permite la transferencia de grandes cantidades de datos de forma rápida y segura, lo que lo hace ideal para aplicaciones en la automatización de procesos industriales.

Profinet se basa en el uso de paquetes de datos Ethernet estándar, lo que significa que puede utilizar la infraestructura de red Ethernet existente y es compatible con otros protocolos Ethernet. Además, Profinet es altamente escalable, lo que significa que puede manejar desde pequeñas redes de dispositivos hasta grandes sistemas de automatización de procesos. Entre las principales características técnicas de Profinet se encuentran su alta velocidad de transmisión de datos, la capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y la flexibilidad en la conexión de

dispositivos. También es muy tolerante al ruido y tiene una amplia variedad de dispositivos compatibles (Pigan, Metter 2008).

Profinet es un protocolo de comunicación industrial Ethernet que permite la comunicación en tiempo real entre dispositivos en una red industrial, lo que lo hace ideal para aplicaciones en la automatización de procesos, en la Tabla 2-3: se presenta las principales características de este protocolo de comunicación.

Tabla 2-3: Características principales que forman parte del protocolo de comunicación industrial ProfiNet

Característica	Descripción
Tipo de red	Basada en Ethernet
Tipo de comunicación	Comunicación en tiempo real (RT) Isócrona (IRT) Asíncrona (NRT)
Velocidad de transmisión de datos	Hasta 1 Gbps
Topología de red	Red en estrella, anillo, línea y árbol
Modos de transmisión	Dúplex completo Semidúplex
Capacidad de dispositivos	Soportar hasta 65,535 nodos por segmento
Soporte para redundancia	Soporta configuraciones redundantes para mayor confiabilidad
Flexibilidad de conexión	Permite la conexión de diferentes tipos de dispositivos y sistemas
Diagnóstico	Ofrece diagnóstico en tiempo real Detección y corrección de problemas
Seguridad	Seguridad a nivel de usuario y en la transmisión de datos
Compatibilidad	Compatible con protocolos Ethernet y protocolos de comunicación de Profinet
Longitud de cableado	Hasta 100 metros en Profinet estándar Hasta 10 kilómetros en Profinet IO.
Desarrollado por	Siemens

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

2.9.4 Sistema Profibus

Profibus permite la comunicación entre dispositivos como sensores, actuadores y controladores en una red industrial. Se utiliza para transferir datos en tiempo real y controlar procesos complejos. Profibus se basa en la tecnología de comunicación serie RS-485, lo que permite una alta velocidad de transmisión de datos y una buena inmunidad al ruido (Rodríguez Penin 2008).

Existen varias versiones de Profibus, como Profibus DP (Decentralized Periphery) y Profibus PA (Process Automation), cada una adaptada a diferentes necesidades de la industria. Profibus DP se utiliza para aplicaciones de control de procesos y maquinaria, mientras que Profibus PA se utiliza en aplicaciones de automatización de procesos (Profibus sin fecha).

Profibus es un protocolo de comunicación industrial que permite la transferencia de datos en tiempo real y el control de procesos en la industria. Su alta velocidad de transmisión y buena inmunidad al ruido lo han convertido en uno de los protocolos más utilizados en la industria, en la Tabla 2-4: se presenta las principales características del protocolo de comunicación Profibus.

Tabla 2-4: Características principales que forman parte del protocolo de comunicación industrial Profibus.

Características	Descripción
Velocidad de transmisión de datos	Hasta 12 Mbps en Profibus DP Hasta 45.45 kbps en Profibus PA.
Tipos de redes	Profibus DP (para control de procesos y maquinaria) Profibus PA (para automatización de procesos).
Tipo de comunicación	Comunicación serie Half-duplex (un dispositivo transmite mientras los demás escuchan).
Arquitectura de red	Arquitectura maestro-esclavo
Topología de red	Bus, estrella o combinación de ambas.
Tipo de cableado	Cable apantallado de par trenzado con conector DB-9 o M12.
Tolerancia al ruido	Alta tolerancia al ruido Uso de técnicas de transmisión diferencial.
Longitud de cableado	Hasta 12 km en Profibus DP Hasta 1 km en Profibus PA.
Capacidad para manejar grandes volúmenes de datos	Grandes cantidades de datos

Características	Descripción
	Transmisión rápida y eficiente.
Flexibilidad en la conexión de dispositivos	Variedad de dispositivos como sensores, actuadores, controladores, etc.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Una vez realizado la investigación teórica en cuanto a los protocolos de comunicación industrial se determinó que el sistema de comunicación conveniente a usarse es el protocolo Modbus ya que este es un protocolo de tipo maestro/esclavo o cliente/servidor, donde un dispositivo maestro o cliente inicia las solicitudes y los dispositivos esclavos o servidores responden a esas solicitudes. Estas solicitudes pueden ser para leer datos (lectura) o escribir datos (escritura) en los registros de memoria de los dispositivos esclavos. Modbus es conocido por su simplicidad y facilidad de implementación, lo que lo hace popular en aplicaciones de automatización industrial de pequeña y mediana escala. Se utiliza en una amplia gama de dispositivos industriales, como controladores lógicos programables (PLCs), sensores, actuadores, paneles de control y otros equipos para el intercambio de datos y el control de procesos. Su simplicidad, interoperabilidad y eficiencia lo hacen adecuado para una amplia gama de aplicaciones, desde sistemas de control de pequeña escala hasta redes industriales más complejas.

2.10 Controlador Lógico Programable (PLC)

El Control Lógico fue utilizado para controlar secuencias de acciones en sistemas de producción automático por muchos años. Inicialmente, un sistema de control utilizaba lógica de cableado usando transmisores electrónicos y unidades lógicas y de tiempo. Este sistema de control lógico presentaba inflexibilidad al reprogramar la máquina; este sistema restringía cambios en el plan de producción y demandaba mucho tiempo al aplicarla por el recableado del sistema. Con la adquisición de minicomputadoras por la década de los 70's facilito realizar cambios en la programación computacional, luego con la incorporación de los microprocesadores en la década de los 80's, que incluían pequeñas memorias y características de entradas y salidas flexibles, de esta manera comenzó a surgir los PLC una instrumentación fiable y robusto capaces de controlar una estación de máquinas automatizadas, reactores de reacciones químicas y múltiples sistemas completos de automatización de producción (Hörman y Schade, 2009).

PLC es un controlador basado en microprocesador, que Incluye una memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones lógicas, secuenciación, temporización, conteo y aritmética. Para controlar máquinas y procesos. Tiene la gran ventaja de cambiar el diagrama Ladder del PLC después de haber sido programado, lo que da la facilidad de usar el mismo PLC para controlar diferentes sistemas después de reprogramarlo, en el uso industrial no se ve afectado

por vibraciones, temperatura, humedad y ruido, lo que significa que es un controlador de área abierta. Los PLC contienen sistemas de hardware y software que se utilizan para sistemas modulares de una sola entrada/salida o múltiples entradas/salidas. Los PLC también se utilizan para sistemas de control analógicos o digitales (Lashin, 2014).

2.10.1 Estructura general de un PLC.

A continuación, se presenta un esquema de flujo que ilustra los elementos y la configuración de un PLC.

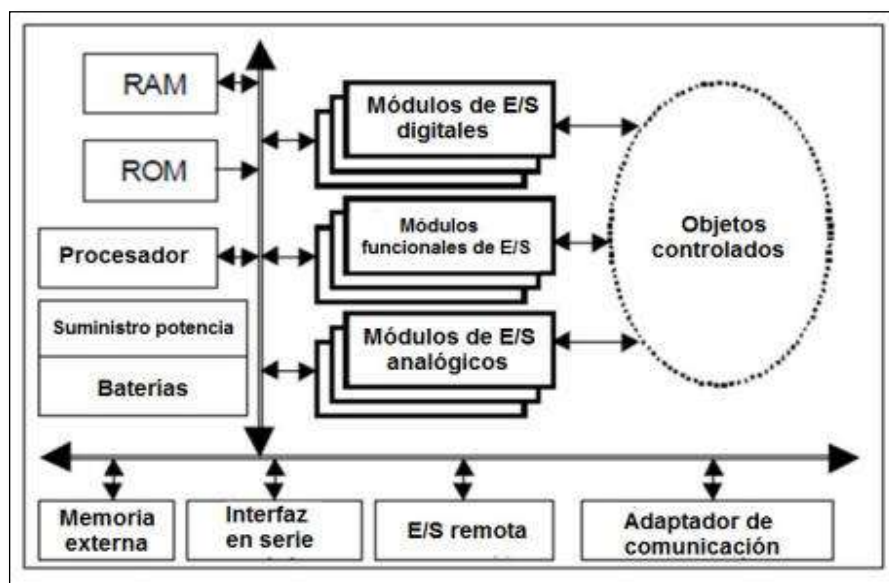


Ilustración 2-8: Diagrama generalizado de un PLC.

Fuente:(Pérez-Molina et al., 2013)

Se puede ver en la Ilustración 2-8: que para que el sistema funcione normalmente, debe haber una fuente de alimentación cuyo propósito principal es asegurar el voltaje de trabajo interno del controlador y sus módulos. Los valores más utilizados son $\pm 5V$, $\pm 12V$ y $\pm 24V$ (Pérez-Molina et al., 2013).

La CPU "Unidad Central de Procesamiento", contiene la parte de procesamiento del controlador y se basa en un microprocesador que permite el uso de operaciones aritméticas y lógicas para realizar diferentes funciones. Además, la CPU también suele llevar la detección al PLC, para descubrir el error a tiempo. Los primeros PLC usaban chips que se procesaban con la llamada tecnología de "corte de bits", como AMD2901, 2903, entre otros (Pérez, 2014). En los PLCs (Controladores Lógicos Programables), la transferencia de datos y/o direcciones se realiza mediante la utilización de cuatro tipos de buses distintos (Pérez-Molina et al., 2013):

- Bus de datos, para la transferencia de datos de los componentes individuales

- El bus de direcciones se utiliza para facilitar las transferencias de datos entre las celdas de memoria donde se han almacenado previamente.
- Bus de control, para las señales de control de los componentes internos
- bus de sistema, para conectar los puertos con los módulos de E/S (Pérez-Molina et al., 2013).

Los datos y las instrucciones se almacenan en la memoria, la cual se divide en dos tipos: memoria permanente (PM) y memoria operativa, conocida como memoria de acceso aleatorio o RAM. La PM se basa en tecnologías como ROM, EPROM, EEPROM o FLASH, y es donde se ejecuta el sistema operativo del PLC, pudiendo ser reprogramada. Además, el programa utilizado puede ser guardado en una memoria externa permanente (como EPROM o EEPROM), que en algunos PLC puede ser un módulo adicional (Pérez-Molina et al., 2013).

Finalmente, los módulos de E/S son aquellos Módulos de Señales (SMS) que coordinan las entradas y salidas de señales con las señales internas del PLC. Estas señales pueden ser digitales (DI, DO) y analógicas (AI, AO), con origen o destinados a sensores, interruptores, actuadores, etc. De esta forma, se utilizan opto acopladores, transistores y relés en las salidas digitales del SM para cambiar el estado de la señal de salida para proteger estos dispositivos de condiciones como cortocircuitos, sobrecargas o sobretensiones (Pérez-Molina et al., 2013).

2.10.2 Funcionamiento general de un PLC.

Shankar (Shankar, 2008) afirma que el funcionamiento del PLC se basa básicamente en el escaneo continuo del programa. El proceso de escaneo consta de tres pasos básicos que se detallan a continuación:

- Como primer paso se monitorea el estado de las entradas del PLC si estas están encendidas o apagadas. Es decir, comprueba si algún dispositivo como, sensores, actuador, entre otros. Están enviando señales que mencionen su estado on/of. La información recibida en esta etapa se guarda en la memoria del procesador para ser utilizados en los pasos siguientes:
- Como segundo paso tenemos ejecutar el programa de control. El procesador principal del PLC lee y ejecuta las instrucciones una tras otra dependiendo de las condiciones del programa y según el estado de las entradas recibidas en el paso anterior, dando lugar al funcionamiento del sistema. Estas acciones incluyen la activación de determinadas salidas y los resultados deben almacenarse en la memoria para su posterior recuperación.
- Como último paso tenemos la actualización y corrección de los estados de las salidas. Las actualizaciones de las salidas se realizan en función del estado de las entradas leídas y de

la ejecución de las instrucciones del programa. Como el PLC es un controlador específico vuelve al principio del ciclo y repite estos pasos continuamente.

2.10.3 Lenguajes de programación que soporta un PLC.

Dependiendo del fabricante y modelo especificado, un PLC puede soportar diferentes lenguajes de programación. Algunos de los lenguajes de programación más comunes según el estándar IEC-61131 utilizados para el PLC son:

- Diagrama de escalera (Ladder Diagram o LD): Es definido como una red de elementos electromecánicos funcionando al mismo tiempo. El principio de funcionamiento del LD se basa en el funcionamiento de un relevador constituido por una bobina y contactos que pueden ser normalmente abiertos (NO) y/o cerrados (NC) (Yuca, 2022).
- Texto estructurado (Structured Text o ST): Es un lenguaje de programación de alto nivel textual, parecido a PASCAL o C. El código de programa consta de expresiones e instrucciones. En contraposición a IL (Lista de instrucciones), puede usar varias construcciones para programar bucles, lo que permite desarrollar algoritmos complejos (B&R Automation studio, 2018).
- Lista de instrucciones (Instruction List o IL): es un lenguaje de programación conforme al estándar IEC 61131-3, parecido al ensamblador admite la programación basada en un acumulador. Se admiten los operadores IEC 61131-3, así como varias entradas/varias salidas, negaciones, comentarios, establecimiento/restablecimiento de salidas y saltos incondicionales/condicionales (Schneider, 2015).
- Graficet (Grafica de Funciones Etapa-Transición o FBD): es un lenguaje de programación gráfica utilizado en la automatización industrial para describir el comportamiento de un sistema como una secuencia de etapas y transiciones. Las etapas representan estados del proceso y las transiciones indican cuándo se debe pasar de una etapa a otra (Pro y Informationen, 2013).

Cada lenguaje de programación tiene sus ventajas y desventajas, y la elección del lenguaje adecuado dependerá de las habilidades del programador.

2.10.4 Principales marcas de un PLC.

Los PLC se encargan de leer las señales enviadas por diferentes dispositivos conectados a las entradas del PLC, se pueden programar en distintos lenguajes para establecer una comunicación con otros dispositivos involucrados en el proceso (Industrias, 2021a). todas las industrias utilizan las

mismas marcas de PLC, algunas empresas les son fieles a Allen Bradley, Siemens, mientras que otras les son fiel a OMRON o Schneider, todo depende de las necesidades de cada proceso (Castillo, 2023). las marcas más destacadas incluyen:

- **Schneider Electric.** Estos dispositivos están diseñados para ser fáciles de programar, poner en servicio y mantener. requiere una instalación mínima y ofrece una enorme versatilidad, lo que los hace adecuados para una amplia variedad de aplicaciones en diferentes sectores industriales (Schneider, 2018).
- **Omron.** - Son controladores lógicos programables utilizados en la automatización industrial. Ofrecen una amplia gama de modelos, como la serie CJ1M y CP1L, con diferentes capacidades de programa y características especiales, incluso para el control de temperatura. Son fáciles de programar, poner en servicio y mantener, y ofrecen flexibilidad, seguridad y múltiples conexiones de dispositivo en la nube (Omron, 2022).
- **Wecon.** Contienen bajo consumo de energía, alta eficiencia y facilidad de uso, con interfaces de red y funciones de seguridad integradas. Además, contienen software de programación gratuito y servicio técnico en línea y fuera de línea, para ayudar a sus clientes a obtener el mayor rendimiento de sus productos. Son utilizados en una amplia variedad de aplicaciones industriales (wecon-iiot, 2022).
- **Siemens.** Son controladores lógicos programables utilizados en la automatización industrial. Ofrecen una amplia gama de modelos, son fáciles de programar, poner en servicio y mantener, y ofrecen flexibilidad, seguridad y múltiples opciones de conectividad de dispositivos en la nube (SIEMENS, 2022).

Tabla 2-5: Principales características de las diferentes marcas de PLC.

Características / Marcas		Schneider	Omron	Wecon	Siemens
Alimentación AC y DC		Si	Si	Si	Si
Software de programación gratuito		Si	Si	Si	Si
Capacidad de expansión de entradas y salidas digitales		Si	Si	Si	Si
Puerto de comunicación ethernet	9/7 Entradas-Salidas	Si	No	No	Si
	16/16 Entradas-Salidas	Si	Si	Si	Si
Comunicación MODBUS		Si	Si	Si	Si
Disponibilidad en el mercado local		No	No	No	Si
Precio accesible	9/7 Entradas-Salidas	574.36\$	209.20\$	148.97\$	430\$
	16/16 Entradas-Salidas	667.45\$	457,74\$	208.92 \$	640\$

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Se llevó a cabo un análisis comparativo de los controladores lógicos programables (PLCs) que podrían ser evaluados en el contexto de la implementación del proyecto. Según los datos recopilados en la Tabla 2-5:, se observa que todos los PLCs presentan soluciones de software gratuitas para facilitar la programación. No todas las marcas disponibles en el mercado local ofrecen esta característica, excepto Siemens, que emerge como alternativa destacada. En términos económicos, es evidente que las marcas más reconocidas, como Schneider y Siemens, imponen costos sustanciales. De ahí la razón por la cual se ha evaluado con atención la marca Wecon, ya que esta se ajusta al margen financiero establecido. Además, no se puede pasar por alto la relevancia de la capacidad de entrada y salida requerida por el proyecto, que asciende a 16 entradas y 16 salidas por relé. Este factor también ha sido un criterio decisivo en la selección, ya que la marca Wecon satisface adecuadamente esta demanda.

2.11 Manipuladores neumáticos industriales.

Los manipuladores neumáticos industriales son dispositivos que utilizan aire comprimido para levantar, mover y posicionar cargas. Estos dispositivos utilizan cilindros neumáticos para convertir la energía del aire comprimido en un movimiento lineal que permite la manipulación de objetos. Los manipuladores neumáticos se utilizan comúnmente en aplicaciones de producción y montaje para reducir la fatiga y el esfuerzo del operador, mejorar la seguridad, aumentar la eficiencia del proceso y reducir el tiempo de ciclo. Se utilizan en muchas industrias, incluyendo la automotriz, la alimentaria, la logística y la construcción, para manipular cargas pesadas y voluminosas, como vehículos, pallets, materiales de construcción, entre otros (Dalmecc, 2016).

2.11.1 Tipos de manipuladores neumáticos.

Existen varios tipos de manipuladores neumáticos que se utilizan en la industria y la construcción. Algunos ejemplos incluyen:

- Brazos neumáticos: se utilizan para levantar y mover objetos de forma rápida y eficiente. Estos brazos están diseñados para ser ligeros y fáciles de maniobrar.
- Brazos de extensión: son similares a los brazos neumáticos, pero pueden extenderse a una mayor distancia. Se utilizan para alcanzar objetos que están más lejos o para trabajar en espacios reducidos.
- Brazos de elevación servo: son manipuladores más sofisticados que utilizan un sistema servo para levantar objetos de forma precisa y controlada.
- Brazos de mástil vertical: se utilizan para levantar objetos a grandes alturas, como pueden ser el manejo de pallets en estanterías de gran altura.

- Manipuladores ingrávidos neumáticos: son dispositivos neumáticos que utilizan la presión del aire para suspender y mover objetos de forma controlada. Estos manipuladores proporcionan una gran libertad de movimiento y son ideales para aplicaciones de montaje y ensamblaje.

Hay diferentes tipos de manipuladores, cada uno con sus características y se usa para un propósito específico, así que es importante elegir el adecuado para cada aplicación.

2.11.2 Manipulador neumático y-z tipo pick and place.

Los manipuladores neumáticos tipo pick and place son dispositivos diseñados para levantar objetos y colocarlos en otro lugar con precisión y rapidez. Este tipo de manipulador utiliza aire comprimido para crear la acción de elevación y transporte. Estos dispositivos se suelen diseñar con varillas y pistones neumáticos conectados a un brazo o una plataforma (Ilustración 2-9:). Los pistones se mueven hacia arriba y hacia abajo mediante la aplicación de aire comprimido, lo que permite que el brazo o la plataforma levante y transporte objetos (Losada y Pinzon, 2021). Además de su uso en aplicaciones industriales, también se utilizan en aplicaciones médicas, de laboratorio y en la industria alimentaria.



Ilustración 2-9: Manipulador neumático Y-Z pick and place.

Fuente: (AVM, 2022)

2.11.3 Estructura del manipulador neumático y-z tipo pick and place.

La estructura del manipulador neumático Y-Z tipo pick and place en general, incluye dos varillas neumáticas y dos pistones que se utilizan para levantar y mover objetos de forma rápida y precisa,

en dos direcciones perpendiculares. El movimiento vertical se logra mediante la acción de la varilla y el pistón neumático Z, que se levanta y baja para mover el objeto. El movimiento horizontal se logra mediante la acción del motor paso a paso junto con el tornillo sin fin en el eje Y, que se mueve hacia adelante y hacia atrás para colocar el objeto en su ubicación deseada. El sistema neumático se alimenta mediante un compresor de aire que suministra aire comprimido a las diferentes partes del manipulador. Este tipo de manipulador es muy utilizado en la industria y en otras aplicaciones donde es necesario mover objetos de forma rápida y precisa (Losada y Pinzon, 2021)

2.12 Sensores

los sensores son dispositivos esenciales utilizados en una amplia variedad de aplicaciones para medición o control de una señal física o química. Hay muchos tipos diferentes de sensores, que, incluyendo sensores de temperatura, de presión, de posición, de fuerza y muchos otros. Los sensores detectan una señal física o química y la convierte en una señal eléctrica o digital. Actualmente, los sensores generan señales eléctricas en su salida, que pueden ser analógicas o digitales, ya que esta representación física es la más utilizada en sistemas de medición modernos. (Corona, Abarca y Mares, 2014)

2.12.1 Tipos de sensores

Existen muchos tipos de sensores, cada uno con sus propias características y aplicaciones específicas. Se presentan algunos de los tipos de sensores más comunes:

- Los sensores de temperatura se utilizan para medir la temperatura de un objeto o entorno.
- “Los sensores de presión se utilizan para medir la presión de un fluido o gas.” (Autopuerta, 2020a)
- Los sensores de humedad se utilizan para medir la humedad en el aire o en un material.
- Los sensores de posición: detectan la posición de un objeto o parte de una máquina.
- Los sensores de movimiento: detectan el movimiento de un objeto o persona (Autopuerta, 2020b)
- Los sensores de proximidad: detectan la presencia de un objeto cercano sin necesidad de contacto físico
- Los sensores de luz: miden niveles de luz o detectan cambios en la luz ambiental
- Los sensores de velocidad: miden la velocidad de un objeto o fluido
- Los Sensores de sonido: miden la intensidad o frecuencia del sonido
- Los sensores de gas: detectan la presencia y concentración de diferentes gases

Hay que considerar que existen otros tipos de sensores disponibles en el mercado, cada uno con características y aplicaciones específicas. La elección del tipo de sensor adecuado depende de la aplicación específica en cuestión.

2.12.2 Sensor inductivo

Es un tipo de sensor utilizado para detectar objetos metálicos o eléctricamente conductores sin necesidad de estar en contacto físico con el objeto a detectar (Ilustración 2-10:). Estos sensores utilizan el principio de inducción electromagnética para generar un campo magnético y detectar cambios en dicho campo cuando un objeto metálico se acerca a la zona de detección (Pepperl+Fuchs, 2016)



Ilustración 2-10: Sensor inductivo.

Fuente: (Pepperl+Fuchs, 2016)

2.12.3 Sensor Capacitivo

Estos sensores utilizan la propiedad de ciertos materiales como papel, vidrio, plástico, aceite, agua y metales para alterar la capacidad del sensor cuando se encuentran en un campo eléctrico. Esto significa que cuando uno de estos materiales se acerca, funciona como un interruptor, pudiendo abrir o cerrar el circuito. (Ilustración 2-11:), lo que es útil en muchas aplicaciones (IngMecafenix, 2020).



Ilustración 2-11: Sensor capacitivo.

Fuente: (IngMecafenix, 2020)

2.12.4 Sensor magnético

Es un dispositivo de detección, que funciona con la detección de campos magnéticos y su presencia o ausencia. Los sensores magnéticos se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, tanto en la industria como en la electrónica de consumo. Los sensores magnéticos pueden ser de varios tipos, como los sensores de efecto Hall, los sensores de campo magnético (Ilustración 2-12:), los sensores Reed y los sensores magnéticos de detección angular (Industrias, 2021b).



Ilustración 2-12: Sensor Magnético.

Fuente: (Industrias, 2021b)

2.12.5 Criterio de selección de sensores

La selección se basa en elegir el dispositivo que cumpla con los parámetros de requerimientos del sistema, en función del tipo de material a detectar. Por ejemplo, si es objeto metálico, se necesita un sensor inductivo o si el objeto es de plástico, será conveniente un sensor capacitivo. Además, se tiene en cuenta el tipo de medición que se requiere, así como el Rango, exactitud, linealidad, velocidad de respuesta, confiabilidad, facilidad de mantenimiento, duración, requisitos de alimentación eléctrica, solidez, disponibilidad y costo (Huerta, 2021). El criterio de selección de los sensores se describe en la Tabla 2-6:.

Tabla 2-6: Criterios de selección de sensores.

Criterios para la selección de sensores	
Características de alimentación y el tipo de salida necesario para mi proceso	<ul style="list-style-type: none">• Análogo, digital• Frecuencia• Potencia• Estabilidad• Tensión• Corriente
Por las características de salida	<ul style="list-style-type: none">• Impedancia• Sensibilidad• Por la forma de señal: unipolar, flotante.

Criterios para la selección de sensores	
Por la magnitud a medir	<ul style="list-style-type: none"> • Magnitudes interferentes • El tiempo de respuesta • Ancho de banda • Resolución • Margen de medida • Exactitud deseada
Por las condiciones del proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura ambiente • Nivel de protección • Nivel de vibraciones
Otros factores	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones • Peso • Vida útil • Costos de adquisición • Disponibilidad • Costos de mantenimiento • Costos de sustitución

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Fuente: (Industrias, 2021b)

2.12.6 Comparativa de sensores para la detección de materiales.

En la Tabla 2-7: se realiza una comparativa entre las características más relevantes de los sensores de proximidad que basan su funcionamiento en la detección de objetos en función del material que está construido, para ello se hace referencia al alcance de detección, costo, disponibilidad en el mercado, velocidad y presión de respuesta.

Tabla 2-7: Comparación de las principales características de los sensores capacitivo, inductivo y magnético.

Elemento	Inductivo	Capacitivo	Magnético
Objeto detectable	Piezas metálicas.	Cualquier material no metálico.	Piezas metálicas imantadas.
Distancia de detección	>3.99mm	<10mm	<5mm
Precisión	Alta	Alta	Alta
Velocidad de respuesta	Rápida	Rápida	Rápida
Trabajo en entornos hostiles: polvo, vibraciones y golpes	Si	No	Si
costo	27.22-36.21\$	10.99-38.54\$	27.19-34.48\$

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Tras comparar varios sensores, se decidió seleccionar el sensor inductivo porque su capacidad de detección (4 mm) es idónea para identificar componentes metálicos. Además, este sensor ofrece salvaguardias contra impactos y vibraciones, todo ello manteniendo un coste económicamente viable. Por otra parte, se ha elegido el sensor magnético para llevar a cabo la detección de los puntos finales en los desplazamientos de los cilindros neumáticos. Su margen de detección de 5 mm, su insensibilidad al desgaste, su desempeño en ambientes adversos y su costo razonable justifican esta elección. En consecuencia, estos sensores emergen como la elección superlativa tanto desde una perspectiva financiera como operativa para la implementación del proyecto

2.13 Control de un proceso de temperatura

El control de temperatura en un proceso industrial es un sistema que permite mantener una temperatura constante en un proceso de producción. El control de temperatura se logra mediante el uso de un controlador de temperatura que mide continuamente la temperatura del proceso y ajusta la entrada de energía, el control de temperatura es importante porque permite mantener las condiciones ideales para el proceso de producción, lo que ayuda a garantizar la calidad y consistencia de los productos. Además, puede mejorar la eficiencia energética y reducir los costos de producción. Hay varios tipos de controladores de temperatura, como los de temperatura PID (proporcional, integral y derivativo), que ajustan la entrada de energía según la diferencia entre la temperatura actual y la temperatura deseada, y los de temperatura ON-OFF, que encienden y apagan la fuente de energía para mantener la temperatura en un rango establecido.

Un sistema de control de temperatura es un conjunto de dispositivos y componentes electrónicos diseñados para mantener una temperatura constante en un entorno determinado. Estos sistemas suelen consistir en un sensor de temperatura, un controlador y un elemento de control, como un termostato, que ajusta la temperatura según los cambios detectados por el sensor. (Nise S. Norman 2011)

2.13.1 Escalas termométricas

Las escalas térmicas son sistemas de medición de temperatura que se basan en la definición de puntos fijos, como el punto de congelación y ebullición del agua, para establecer una escala de referencia para la temperatura. Estas escalas se utilizan para medir la temperatura en diferentes campos, como la física, la química, la ingeniería y la meteorología. (Nicholas, White 2001)

Es importante tener en cuenta que la escala Celsius es la unidad de medida del Sistema Internacional (SI) de unidades, mientras que las escalas Fahrenheit y Rankine son utilizadas principalmente en los Estados Unidos y algunos otros países. La escala Kelvin es la escala de

temperatura absoluta del SI de unidades y se utiliza ampliamente en todo el mundo. A continuación, presentamos la Tabla 2-8: con la comparativa de las escalas termométricas.

Tabla 2-8: Comparativa de las escalas termométricas Celsius, Fahrenheit, Reaumur y Kelvin.

Escala	Punto de congelación del agua	Punto de ebullición del agua	Cero absolutos
Celsius	0°C	100°C	-273,15°C
Fahrenheit	32°F	212°F	-459,67°F
Reaumur	491,67°R	671,67°R	0°R
Kelvin	273,15K	373,15K	0K

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Fuente: (Serway, Jewett 2008)

2.13.2 Controladores de temperatura

Los controladores de temperatura son dispositivos electrónicos diseñados para mantener la temperatura de un proceso o sistema dentro de un rango predefinido de valores. Estos dispositivos monitorean constantemente la temperatura del sistema y envían señales de retroalimentación a los dispositivos de control, para ajustar la entrada de energía y mantener la temperatura dentro del rango deseado (Skoog, Holler, Crouch 2011).

Los controladores de temperatura se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones en la industria, la ciencia y la ingeniería, como en procesos de fabricación de alimentos y bebidas, procesos químicos, equipos de laboratorio, equipos médicos y sistemas de climatización. Los controladores de temperatura pueden ser programables, es decir, pueden configurarse para ajustar automáticamente la temperatura a diferentes valores en diferentes momentos, o manuales, lo que requiere que el operador ajuste manualmente la temperatura.

Existen varios tipos de controladores de temperatura, algunos de los cuales se describen a continuación:

2.13.3 Controlador ON/OFF

Este es el tipo más simple de controlador de temperatura. Cuando la temperatura alcanza un punto de ajuste predeterminado, el controlador activa o desactiva la fuente de calor. Este tipo de controlador es adecuado para procesos en los que la variación de temperatura no es crítica y no requiere un control de precisión (Skoog, Holler, Crouch 2011).

2.13.4 Controlador proporcional

En este tipo de controlador, la fuente de calor se ajusta en proporción a la diferencia entre la temperatura actual y la temperatura deseada. A medida que la temperatura se acerca al punto de ajuste, la fuente de calor se reduce gradualmente, lo que permite un control más preciso de la temperatura (Skoog, Holler, Crouch 2011).

2.13.5 Controlador proporcional-integral (PI)

Este tipo de controlador combina la acción proporcional con una acción integral. La acción integral ayuda a corregir la desviación de temperatura residual que no se corrige con la acción proporcional. Esto significa que el controlador puede ajustar la temperatura de manera más precisa y reducir el tiempo que tarda en alcanzar el punto de ajuste. Controlador proporcional-integral-derivativo (Skoog, Holler, Crouch 2011).

2.13.6 Controlador proporcional-integral-derivativo (PID)

Es el controlador de temperatura más avanzado y se usa en procesos que requieren un control de temperatura muy preciso. Además de la acción proporcional e integral, este controlador también utiliza una acción derivativa para anticipar los cambios en la temperatura y ajustar la fuente de calor en consecuencia (Skoog, Holler, Crouch 2011).

2.14 Sensores de temperatura

Los sensores electrónicos ayudan a medir magnitudes físicas con mayor precisión; no se puede hablar de sensores sin procesador de señal, porque suelen transmitir señales muy pequeñas y equilibran sus propiedades con las que les permiten registrar, acondicionar, procesar y actuar sobre la señal. Estos sensores convierten la energía térmica en una señal eléctrica o digital, permitiendo así la monitorización y control de la temperatura en diversas aplicaciones. La temperatura es probablemente el parámetro físico más común medido en aplicaciones electrónicas, e incluso en muchos casos donde el parámetro de interés no es la temperatura, debe medirse para incorporar implícitamente su efecto en la medición deseada (Alzate, Montes, Silva 2007).

Una termocupla esta echa por dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente) como se muestra en la Ilustración 2-13:. Cuando se produce un cambio de temperatura en la unión de metales, se origina un voltaje de baja magnitud (conocido como efecto Seebeck) en el rango de milivoltios, el cual se ve influenciado por la temperatura aplicada o medida.

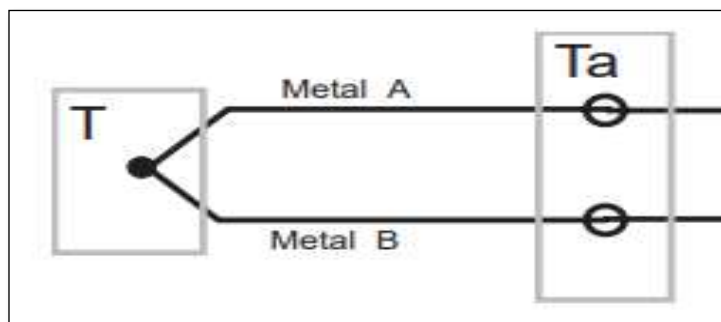


Ilustración 2-13: Construcción interna de termocupla (sensor de temperatura).

Fuente: (Arian: Control and Instrumentación 2011)

Hay varios tipos de termocuplas, como J, K, T, R, S, B. Las termocuplas tipo J se usan sobre todo en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (DingelmePYM, 2022).

La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C y las termocuplas R, S, B se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero) Finalmente el tipo T eran usadas hace algún tiempo en la industria de alimentos (DingelmePYM, 2022).

Las características de funcionamiento de las termocuplas van a función a la aleación de metales en su interior como se puede apreciar en la Tabla 2-9:.

Tabla 2-9: Comparativa de las termocuplas existentes en el mercado, usados en la industria de la automatización.

Termocupla	Cable + Aleación	Cable – Aleación	Grados Centígrados	Rango mV
J	Hierro	Cobre/Níquel	-180 a 1200	42.2
K	Níquel/Cromo	Aluminio/Níquel	-180 a 1372	54.8
T	Cobre	Cobre/Níquel	-250 a 400	20.8
R	87%Platino/13%Rodio	Platino	0 a 1767	21.09
S	90%Platino/10%Rodio	Platino	0 a 1767	18.68
B	70%Platino/30%Rodio	94%Platino/6%Rodio	0 a 1820	13.814
		Rodio		

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Fuente: (Arian: Control and Instrumentación 2011)

Una vez haber realizado la comparativa de las diferentes termocuplas disponibles en la industria se seleccionó la termocupla tipo J debido a sus características adecuadas para este uso, como lo

son: su bajo costo, fácil construcción, resistencia a diferentes atmósferas y amplio rango de operación (- 180 a 1200 °C).

2.15 Motores usados en la automatización industrial

El motor es fundamental en los sistemas de automatización industrial. Los motores convierten la energía eléctrica en energía mecánica, lo que permite la generación de movimiento en los procesos industriales. Esto es esencial para el funcionamiento de maquinaria, equipos y sistemas automatizados. Los motores proporcionan el control preciso del movimiento en los sistemas de automatización industrial. Ya sea para rotar un eje, desplazar un objeto linealmente o controlar una trayectoria compleja, los motores permiten el movimiento necesario para llevar a cabo diversas tareas y procesos. Los motores en los sistemas de automatización industrial ofrecen la capacidad de ajustar la velocidad de rotación y el par de torsión según las necesidades específicas de la aplicación. Esto permite adaptar el motor a diferentes condiciones de carga y requerimientos de velocidad, lo que brinda flexibilidad y control en los procesos.

Muchos sistemas de automatización industrial requieren un posicionamiento preciso de componentes o herramientas. Los motores, especialmente los servomotores y los motores paso a paso, ofrecen una alta precisión en el control de la posición. Esto es crucial en aplicaciones como máquinas CNC, robótica industrial, sistemas de manipulación y ensamblaje. Los motores pueden ser controlados y supervisados mediante sistemas de control, ya sea a través de PLC (Controlador Lógico Programable), controladores de movimiento o interfaces de usuario. Estos sistemas permiten ajustar los parámetros de operación del motor, monitorear su desempeño, detectar fallos y realizar diagnósticos en tiempo real.

2.15.1 Motor de corriente continua

Un motor de corriente continua es un dispositivo eléctrico que convierte la energía eléctrica de corriente continua en movimiento mecánico. Estos motores operan gracias a la interacción entre un campo magnético generado por imanes permanentes o electroimanes, y una corriente continua que circula a través de bobinas ubicadas en el rotor del motor. El flujo de corriente se invierte periódicamente mediante el uso de un conmutador o escobillas, lo que produce un campo magnético rotativo que impulsa el movimiento del rotor. A continuación, se muestra una representación del motor de corriente continua en la Ilustración 2-14:.



Ilustración 2-14: Motor DC.

Fuente: (Petruzella 2016)

Los motores de corriente continua se usan en aplicaciones industriales y de automatización por su capacidad para dar control preciso de velocidad y par, alta respuesta dinámica, amplio rango de velocidad, reversibilidad y capacidad de arranque suave.

2.15.2 Motor paso a paso

Un motor paso a paso es un tipo de motor eléctrico que convierte señales eléctricas en movimientos discretos o pasos angulares. A diferencia de otros motores, como los motores de corriente continua, los motores paso a paso no giran continuamente, sino que avanzan en pasos definidos en respuesta a las señales de control y en la Ilustración 2-15: se muestra un motor paso a paso convencional.

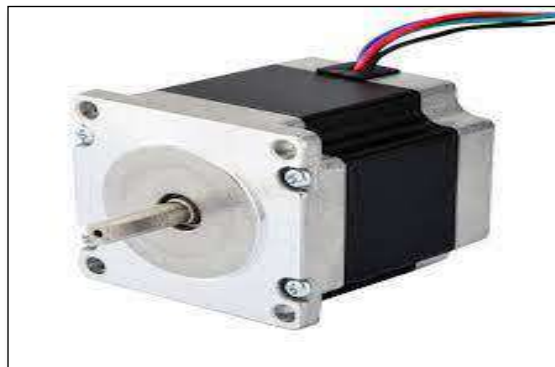


Ilustración 2-15: Motor Paso a Paso.

Fuente: (Petruzella 2016)

El motor está constituido por un rotor y un estator. El rotor suele tener dientes o imanes que interactúan con los devanados del estator, divididos en fases. Cada fase del motor se energiza secuencialmente mediante señales eléctricas para generar campos magnéticos que atraen o repelen al rotor, lo que produce el movimiento paso a paso. La cantidad de pasos necesarios para completar una revolución completa del motor depende de su diseño y construcción (Petruzella 2016).

Al controlar adecuadamente las secuencias de excitación de las fases, es posible controlar con precisión el movimiento del motor paso a paso, ya sea para realizar rotaciones precisas en incrementos predefinidos o para mover el motor en una dirección específica.

Los motores paso a paso son ampliamente utilizados en aplicaciones que requieren posicionamiento preciso, como en máquinas CNC, impresoras 3D, robótica, sistemas de control de movimiento y otras aplicaciones donde se necesita un control preciso de la posición y la velocidad.

2.15.3 Motor de Corriente Alterna

Un motor de corriente alterna (AC) es un tipo de motor eléctrico que convierte la energía eléctrica de corriente alterna en movimiento mecánico. Estos motores se basan en el principio de la interacción entre un campo magnético rotativo y corrientes inducidas en las bobinas del rotor para generar el movimiento. En un motor de corriente alterna, el estator contiene bobinas que están conectadas a una fuente de alimentación de corriente alterna. Estas bobinas generan un campo magnético rotativo cuando se alimentan con la corriente alterna. El rotor se compone de conductores o barras conductoras situadas en el campo magnético rotativo del estator, en la Ilustración 2-16: hay un motor de corriente alterna.



Ilustración 2-16: Motor AC.

Fuente: (Petruzella 2016)

Por la interacción entre el campo magnético y las corrientes inducidas en el rotor, hay dos fuerzas que impulsan el movimiento del rotor. Los motores de corriente alterna se usan en varias aplicaciones industriales y comerciales por su eficiencia, simple diseño y disponibilidad de suministro de energía de corriente alterna. Estos motores ofrecen ventajas como un buen rendimiento a velocidades constantes, un mantenimiento relativamente bajo y una amplia gama de tamaños y capacidades.

A continuación, se presenta una tabla comparativa Tabla 2-10: de los motores presentados antes donde se recogen sus principales características.

Tabla 2-10: Hardware del segmento banda transportadora.

Característica	Motores AC	Motores DC	Motores paso a paso
Tipo de corriente	Corriente alterna	Corriente continua	Corriente continua
Principio de funcionamiento	Campo magnético rotativo	Interacción entre campo magnético y corriente continua	Interacción entre campo magnético y corrientes inducidas
Control de velocidad	Requiere dispositivos externos para el control de velocidad	Control de velocidad variable mediante la regulación de la tensión o la corriente	Control de pasos precisos
Par de arranque	Bajo par de arranque	Alto par de arranque	Alto par de arranque
Reversibilidad	Puede invertir la dirección de rotación cambiando la secuencia de fases	Puede invertir la dirección de rotación al invertir la polaridad de la fuente de alimentación o mediante el control de la conmutación	Puede invertir la dirección de rotación mediante el control de pasos
Respuesta dinámica	Buena respuesta dinámica	Buena respuesta dinámica	Buena respuesta dinámica
Eficiencia	Mayor eficiencia en grandes potencias	Mayor eficiencia en pequeñas y medianas potencias	Eficiencia variable según el tipo y la carga
Mantenimiento	Requiere mantenimiento periódico debido a desgaste de escobillas o conmutadores	Requiere mantenimiento periódico debido a desgaste de escobillas o conmutadores	Requiere poco o ningún mantenimiento

Característica	Motores AC	Motores DC	Motores paso a paso
Aplicaciones comunes	Ventiladores, bombas, sistemas de climatización	Automatización industrial, vehículos eléctricos, herramientas eléctricas	Impresoras 3D, máquinas CNC, robótica
Control de posición	Requiere dispositivos adicionales para control de posición	Limitado control de posición	Excelente control de posición y precisión
Precio	\$10 - \$70	\$5 - \$20	\$10 - \$60

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

En base a las características presentadas el motor paso a paso se considera ideal para el trabajo de titulación ya que este nos brinda mayor control sobre el motor, así como mejor precisión que son vitales para que el proceso funcione de manera adecuada, de igual manera nos permite trabajar con corriente continua haciendo y es menos robusto con buen par de arranque ideal para trabajos en la etapa de la banda transportadora, así como en la etapa de fosfatado y lavado.

El motor DC por su precio y fácil control es ideal para la cámara de pintura de la carrocería a implementarse dentro del módulo planteado.

2.16 Controlador para motor

Un controlador para un motor es un dispositivo electrónico o sistema que se utiliza para gestionar y regular el funcionamiento de un motor eléctrico. Su principal función es recibir señales de entrada, como comandos o señales de control, y convertirlas en señales de salida adecuadas para el motor, lo que permite controlar su velocidad, dirección, aceleración, frenado y otras características operativas. El controlador del motor actúa como una interfaz entre el motor y el sistema de control o el operador, proporciona la lógica y la electrónica necesarias para administrar el suministro de energía al motor y garantizar un funcionamiento seguro y eficiente (Petruzella 2016).

Los controladores de motor pueden variar en complejidad y características, dependiendo de la aplicación y los requisitos específicos del motor. Algunos controladores pueden ser simples y contar con funciones básicas de encendido y apagado, mientras que otros pueden ser más sofisticados e incluir capacidades de control de velocidad, control de par, control de posición y otros modos de operación avanzados. Los controladores para motores pueden diseñarse específicamente para ciertos tipos de motores, como motores de corriente continua (DC), de

corriente alterna (AC) o paso a paso, y pueden variar según su capacidad de potencia, comunicación y control.

2.17 Sistema HMI (Human Machine Interface) – SCADA

Un sistema de control y adquisición de datos o SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) permite acceder a datos de manera remota sobre un proceso y usar herramientas de comunicación para controlarlo, siendo así un software entre niveles de control y niveles superiores de gestión de procesos, es una aplicación informática diseñada en ordenador con posibilidades de gestión en tiempo real, ofrece interface gráfica tipo HMI, pero no todos los sistemas con disposición de HMI son SCADA (Molina Martínez, Jiménez Buendía 2010).

Los SCADA son sistemas ampliamente empleados en diversas industrias y procesos de automatización. Proporciona una plataforma centralizada para supervisar, controlar y recopilar datos en tiempo real de sistemas y procesos dispersos geográficamente.

2.17.1 Componentes del sistema SCADA

El sistema SCADA está compuesto por varios componentes interconectados, que incluyen:

- Unidades de adquisición de datos: Recopilan información de sensores y dispositivos ubicados en el campo, como sensores de temperatura, nivel, presión, caudal, etc.
- Controladores lógicos programables (PLCs): Son dispositivos que controlan y monitorean los equipos y procesos locales. Los PLCs se comunican con el sistema SCADA para enviar datos y recibir instrucciones (Molina Martínez, Jiménez Buendía 2010).
- Estaciones de operador: Son interfaces gráficas de usuario (HMI) que permiten a los operadores supervisar y controlar los procesos en tiempo real. Proporcionan visualizaciones gráficas, alarmas, tendencias, informes y otras herramientas para facilitar la toma de decisiones.
- Comunicación: El sistema SCADA utiliza protocolos de comunicación para intercambiar datos entre los dispositivos de campo, los PLCs y las estaciones de operador. Pueden emplearse redes cableadas o inalámbricas, como Ethernet, Modbus, Profibus, entre otros (Molina Martínez, Jiménez Buendía 2010).
- Base de datos: Almacena y gestiona los datos recopilados por el sistema SCADA. Esto permite el almacenamiento a largo plazo, la generación de informes y el análisis de datos históricos.

2.17.2 Ventajas del sistema SCADA

El sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ofrece varias ventajas en entornos industriales y de automatización. Algunas de las ventajas más destacadas son:

- **Supervisión y control centralizado:** El sistema SCADA proporciona una plataforma centralizada para supervisar y controlar múltiples procesos y sistemas distribuidos geográficamente desde una ubicación central. Esto permite a los operadores tener una visión completa y en tiempo real de todas las operaciones (Rodríguez Penin 2011).
- **Mejora de la eficiencia operativa:** El sistema SCADA permite optimizar los procesos y aumentar la eficiencia operativa al monitorear y controlar parámetros críticos en tiempo real. Esto facilita la detección temprana de problemas, la toma de decisiones rápidas y la implementación de ajustes para optimizar el rendimiento (Rodríguez Penin 2011).
- **Recopilación y análisis de datos:** El sistema SCADA recopila y almacena datos históricos y en tiempo real, lo que permite realizar análisis y generar informes detallados sobre el rendimiento del sistema. Esto ayuda en la identificación de tendencias, la detección de patrones y el análisis de datos para mejorar los procesos y la toma de decisiones (Molina Martínez, Jiménez Buendía 2010).
- **Alarmas y notificaciones:** El sistema SCADA permite configurar alarmas y notificaciones automáticas para informar a los operadores sobre eventos o condiciones anormales. Esto ayuda a identificar y resolver rápidamente problemas, minimizando el tiempo de inactividad y mejorando la seguridad.
- **Acceso remoto:** El sistema SCADA ofrece la posibilidad de acceder a los sistemas y procesos desde ubicaciones remotas, lo que facilita la supervisión y el control incluso fuera del entorno de la planta. Esto permite a los equipos de mantenimiento y gestión acceder a los datos y realizar acciones necesarias desde cualquier lugar (Rodríguez Penin 2011).
- **Integración con otros sistemas:** El sistema SCADA se puede integrar con otros sistemas de automatización y gestión, como sistemas de gestión de activos (CMMS) o sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP). Esto permite una mayor eficiencia y sincronización de la información en toda la organización (Molina Martínez, Jiménez Buendía 2010).

2.17.3 Funciones del sistema SCADA

Las principales funciones del sistema SCADA incluyen la supervisión y control remotos, la adquisición y almacenamiento de datos en tiempo real, la generación de alarmas en caso de condiciones anormales, el registro de eventos, la generación de informes y análisis de datos. Es

importante destacar que la arquitectura y las características específicas de un sistema SCADA pueden variar según las necesidades y requisitos de cada aplicación (Molina Martínez, Jiménez Buendía 2010).

2.17.4 HMI

HMI (Human-Machine Interface) se refiere a la interfaz entre un ser humano y una máquina o sistema. Es una tecnología que permite la interacción y comunicación entre los operadores humanos y los dispositivos o sistemas que controlan o supervisan. En el ámbito de la automatización industrial, el término HMI (Human Machine Interface, por sus siglas en inglés) se utiliza para hacer referencia de manera específica a la interfaz gráfica que permite a los operadores interactuar con equipos, sistemas y procesos industriales. (Vásquez 2019).

Se utiliza para visualizar y controlar el funcionamiento de maquinaria, sistemas de control y otros dispositivos relacionados. Un HMI típico consta de una pantalla táctil o un panel de control que muestra información en tiempo real sobre el estado de los sistemas, datos de monitoreo, alarmas, gráficos, tendencias, controles interactivos y otras funcionalidades relevantes (Vásquez 2019).

interfaz de usuario del HMI se diseña intuitiva y fácil de usar, para dar una experiencia amigable para el operador y facilitar la comprensión y control de los sistemas industriales, para ello se recurre a varias opciones de software HMI/SCADA como se muestra en la Tabla 2-11:, donde se muestra varias de las principales marcas y sus fabricantes que también son asociados a PLCs permitiendo de esta manera una mejor comunicación entre estos dos elementos de control.

Tabla 2-11: Principales paquetes HMI/SCADAS comerciales y sus fabricantes

Software de HMI/SCADA	Fabricante
Wonderware InTouch	Aveva
Siemens WinCC	Siemens
Ignition	Inductive Automation
GE Digital iFIX	GE Digital
Schneider Electric Vijeo Citect	Schneider Electric
Rockwell FactoryTalk View	Rockwell Automation
Citect SCADA	Schneider Electric
Zenon SCADA	COPA-DATA
IntegraXor	Ecava
VTScada	Trihedral
iFIX	GE Digital

Software de HMI/SCADA	Fabricante
CIMPLICITY HMI/SCADA	GE Digital
InduSoft Web Studio	Aveva
Movicon	Progea
PCVue	ARC Informatique
WinTr	Simumatik
Pro-face GP-Pro EX	Pro-face
PIStudio	Wecon
Iconics Genesis	Iconics
iFIX	GE Digital
PlantStruxure	Schneider Electric
Vijeo Designer	Schneider Electric
WinCC OA	Siemens

Fuente: (Vásquez 2019)

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo busca implementar un sistema automatizado del proceso de fosfatado, lavado y pintado de carrocería en la línea de producción de autobuses, de manera didáctica, que permita conocer la funcionalidad de los procesos a nivel industrial. En este capítulo se detalla la puesta en marcha del proceso, considerando su funcionalidad a partir de los requerimientos planteados para cada módulo. En la Ilustración 3-1: se aprecia el diagrama de bloques del funcionamiento del módulo a implementar con cada paso para obtener el producto terminado.

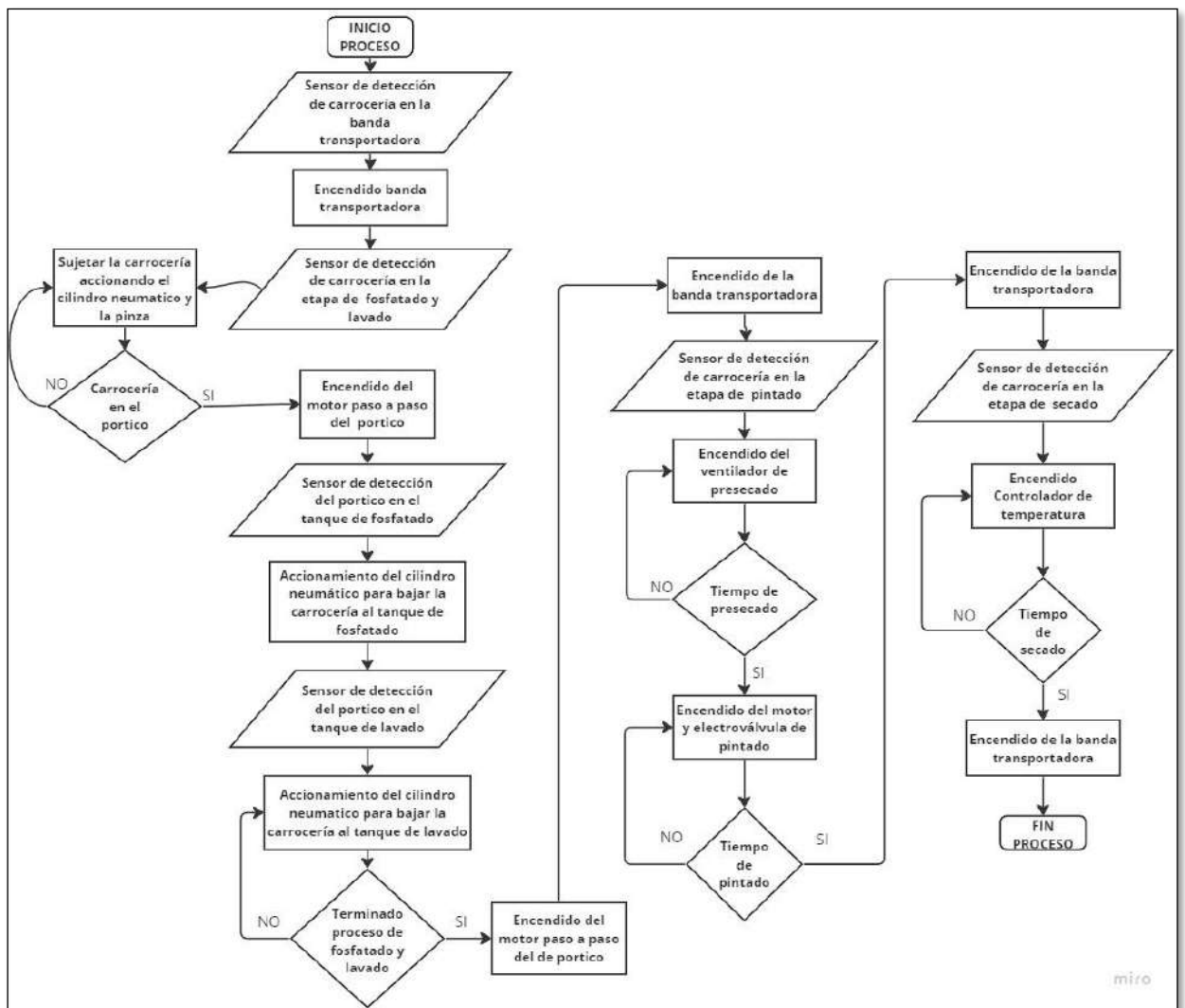


Ilustración 3-1: Diagrama de bloques de funcionamiento del módulo.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

En el contexto del proceso en cuestión, se introducen el diseño mecánico que delimitan las estructuras físicas. Además, se aborda el diseño neumático, en el que se seleccionan los componentes neumáticos pertinentes. También se realizan los diagramas esquemáticos que representan de manera gráfica cada módulo funcional del sistema en desarrollo. Se lleva a cabo la elaboración de los diseños eléctricos. Estos comprenden la especificación del dimensionamiento de los dispositivos de seguridad, la disposición de los conductores eléctricos siguiendo parámetros normativos y la selección de los componentes eléctricos requeridos para el proyecto. Además, se afronta la labor de programación que engloba múltiples etapas cruciales. Incluye la configuración fina de los sistemas, la calibración precisa para garantizar un funcionamiento óptimo y la constante evolución de la funcionalidad del proceso en relación con los objetivos predefinidos.

3.1 Requerimientos del proceso

El objetivo de esta fase es describir el proceso en forma general del trabajo de titulación, con la descripción de la concepción del proceso, especificación de los requerimientos y los técnicos para la implementación del proyecto.

3.1.1 Especificación de requerimientos del proceso

Con el estudio y análisis del capítulo anterior, se identificaron los requerimientos necesarios para realizar el proyecto de implementación de un módulo didáctico para procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías en la línea de fabricación de autobuses. En los siguientes apartados se describen los requerimientos generales y los requerimientos específicos por cada etapa.

3.1.2 Requerimientos generales

- En la parte principal del sistema automatizado se requiere el central de mando que está integrando por el controlador lógico programable (PLC), un botón de inicio, paro y emergencia que permita detener el funcionamiento del sistema en caso de que se presente una situación de peligrosa o condiciones anormales de funcionamiento (ISO 13850, 2015) (Preview, 2015). Una fuente de alimentación de corriente continua para la alimentación de todos los dispositivos eléctricos controlados por el PLC.
- Para el transporte y simulación de las etapas de la banda transportadora, fosfatado y lavado de la carrocería se implementa actuadores neumáticos, motores de corriente continua que otorgan una aceptable precisión e implementación de sensores que generan los paros respectivos por cada etapa.

- En la etapa de procesado y pintado se requiere implementar un ventilador y un aerógrafo que permitan la simulación de las actividades a realizar en dichos procesos.
- Para el análisis del comportamiento y niveles de temperatura requeridos para el proceso de secado, se considera la implantación de un controlador de temperatura y un sensor acorde a la actividad.

3.1.3 Etapa del segmento banda transportadora.

- Se necesita un controlador lógico programable (PLC) marca Wecon, que debe poseer de 16 entradas y 16 salidas para el adecuado control de los elementos del sistema.
- Integra un motor paso a paso de 2.8 amperios, el driver de control que limita la corriente ajustable y protección contra sobrecarga, además del control de dirección y 6 posiciones de pasos del motor, al modular el ciclo de trabajo de los pulsos, el PWM regula con gran exactitud la cantidad de energía suministrada al motor, induciendo variaciones en la velocidad de rotación y orientación del motor, lo cual se traduce en el movimiento deseado de la banda de transporte de manera altamente controlada y adaptable a diferentes escenarios operativos..
- Para efectuar la activación con precisión del generador de pulsos modulados en ancho (PWM), el driver de control y el motor de pasos, se hace necesaria la utilización de un módulo adaptador serial DB9. A través de este módulo, se establece la transmisión tanto de la alimentación necesaria como de las señales de control, cuyo origen se encuentra en el controlador lógico programable (PLC).
- Con el fin de llevar a cabo la identificación precisa de la ubicación de la carrocería, se incorporan sensores inductivos que posibilitan la interrupción controlada de la operación de la banda transportadora en correspondencia con cada fase distinta del procedimiento.

3.1.4 Etapa de fosfatado y lavado.

- El sistema comprende un manipulador neumático con la configuración "pick and place", cuyo movimiento se ejecuta en el plano Y-Z y asume la función de transportar la carrocería entre los distintos compartimentos de proceso. Esta disposición se complementa con un motor paso a paso que habilita el desplazamiento del actuador en el plano horizontal mediante la utilización de un mecanismo de tornillo sin fin. Para controlar este motor paso a paso, se incorporan un controlador especializado y un generador pulsos PWM (modulación de ancho de pulso), que permiten regular y ajustar la dirección y la magnitud del movimiento paso a paso.
- La sujeción de la estructura del vehículo se lleva a cabo mediante un manipulador actuado por un sistema neumático, que incorpora un efector terminal en forma de pinza. Además, se

integran tres sensores magnéticos estratégicamente posicionados para discernir la ubicación precisa del manipulador en tres estados distintos: inicio, proceso de fosfatado y proceso de lavado. En adición, se requiere de dos sensores magnéticos dispuestos en el cilindro neumático que permiten detectar la posición del bastidor de manera efectiva.

3.1.5 Etapa de pintado.

- Se hace necesario implementar un ventilador de corriente continua de 24V para llevar a cabo el proceso de pre-secado una vez culminadas las fases de fosfatado y lavado de la carrocería.
- En esta fase, se requiere incorporar un aerógrafo, crucial para aplicar pintura sobre la carrocería, junto con un motor de corriente continua (DC) encargado de accionar un actuador lineal que facilita el desplazamiento del aerógrafo en un trayecto. Dicho motor se configura con un mecanismo reductor de voltaje y un relé que permite el cambio de dirección de rotación.

3.1.6 Etapa de secado.

- Es necesario incluir un sensor de temperatura, con la capacidad de realizar mediciones térmicas dentro de la cámara del horno, el cual se encuentra integrado con un controlador de temperatura basado en un algoritmo proporcional-integral-derivativo (PID). se utiliza el software PISudio para la visualización del comportamiento de los diferentes niveles de temperatura.

3.1.7 Concepción del proceso.

La implementación del módulo didáctico para los procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías en la línea de fabricación de autobuses se realiza en el laboratorio de Automatización de la FIE-ESPOCH. El propósito fundamental de este proyecto radica en la facilitación de una simulación didáctica en tiempo real del proceso industrial, mediante la incorporación de dispositivos de automatización industrial. El módulo Didactico se estructura en conformidad con las siguientes etapas.

- 1 Etapa del segmento banda transportadora. - Compuesto por: un controlador lógico programable (PLC) de modelo Wecon LX5S-1616MR-A, ejerciendo dominio sobre todas las etapas subsiguientes, acompañado por un motor de pasos con su correspondiente generador de modulación por ancho de pulso (PWM), el driver de control y los sensores de naturaleza inductiva que habilitan la detección de la carrocería sujeta al tratamiento. Esta

fase instaura la capacidad de transporte de la carrocería hacia las diversas ubicaciones de tratamiento, instrumentalizada mediante la operatividad de los sensores inductivos.

- 2 Etapa de fosfatado y lavado. – Conformado por un actuador neumático con efector final tipo pinza, un motor paso a paso con su driver de control y generador de pulsos que permite el movimiento del actuador en el eje horizontal y sensores magnéticos que permiten el posicionamiento del actuador en 3 puntos específicos. Se encarga de transportar la carrocería desde la banda transportadora hasta la tina de fosfatado luego a la tina de lavado.
- 3 Etapa de pintado. Conformado por un ventilador de 24 VDC, un motor lineal de 12 VDC, un aerógrafo y un sensor inductivo. La etapa permite realizar la simulación del pintado de la carrocería y prepararlo para realizar la acción de secado.
- 4 Etapa de secado. El sistema, compuesto por un regulador de temperatura modelo INKBIRD ITC-100VL junto con un sensor termocupla de tipo J, permite la regulación precisa de la temperatura según las variables circunstanciales. Además, incorpora un controlador proporcional-integral (PI) que opera para mitigar aumentos abruptos en la temperatura, para prevenir perjuicios en el acabado de la pintura.

3.2 Diseño mecánico y ensamblaje estructura del módulo didáctico.

En este apartado se indica la parte mecánica en 3D de las piezas de cada etapa que van a conformar el módulo didáctico a implementar, El diseño de las piezas se realizó con la utilización del software AutoCAD.

3.2.1 Representación mecánica de etapa de la banda transportadora.

La estructura de la banda transportadora está construida con las dimensiones adecuadas para alojar la base del motor y sus diferentes controladores como también dos rodillos, una corre dentada y una cinta transportadora. Está construido a base de perfil de aluminio tipo T slot. Este sistema ensamblado permite mover la carrocería metálica a escala y en la Ilustración 3-2: se puede apreciar la representación mecánica de la banda transportadora.

Para el diseño de las piezas que conforman la banda transportadora se consideró las diferentes medidas (Tabla 3-1:) En conformidad con la asignación de área que será ocupada por el proyecto dentro del entorno del laboratorio de automatización de la FIE-ESPOCH, en el contexto de la materialización de la línea de fabricación de autobuses.

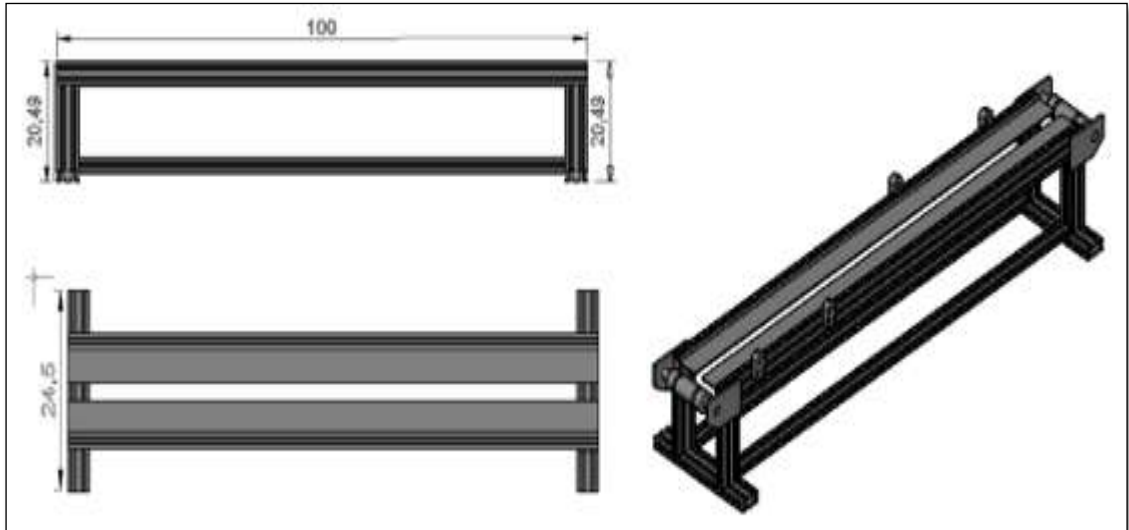


Ilustración 3-2: Diseño mecánico de la banda transportadora.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Tabla 3-1: Parámetros y medidas del diseño de la banda transportadora.

Parámetros		Medidas
Tipo de material	Perfil de aluminio	20 mm de ancho x 40mm de largo x 0,6 mm de Espesor. 20 mm de ancho x 20 mm de largo x 0.6mm de espesor
Largo		1000 mm
Alto		2048mm
Ancho		2400mm

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.2.2 Representación mecánica de etapa de fosfatado y lavado.

En la etapa de fosfatado y lavado se diseña estructuras con un dimensionamiento adecuado para el soporte del actuador neumático y el soporte de las tinas. La estructura se construye con perfil de aluminio tipo T slot. El ensamblado permite el funcionamiento del actuador neumático con ello el transporte de la carrocería al punto de fosfatado, lavado y al pallet de la banda transportadora, en la Ilustración 3-3: se puede apreciar la representación mecánica de la estructura de la etapa de fosfatado y lavado de la carrocería

Para el diseño de las piezas que conforma la estructura de la cesta de fosfatado y lavado se consideró las diferentes medidas (Tabla 3-2:) Parámetros y medidas de las piezas utilizadas en el

diseño estructural de la etapa de fosfatado y lavado.) de acuerdo a las medidas de la banda transportadora para el acople de la estructura y el espacio que ocupara el proyecto en el laboratorio de automatización de la FIE-ESPOCH al construir la línea de fabricación de autobuses.

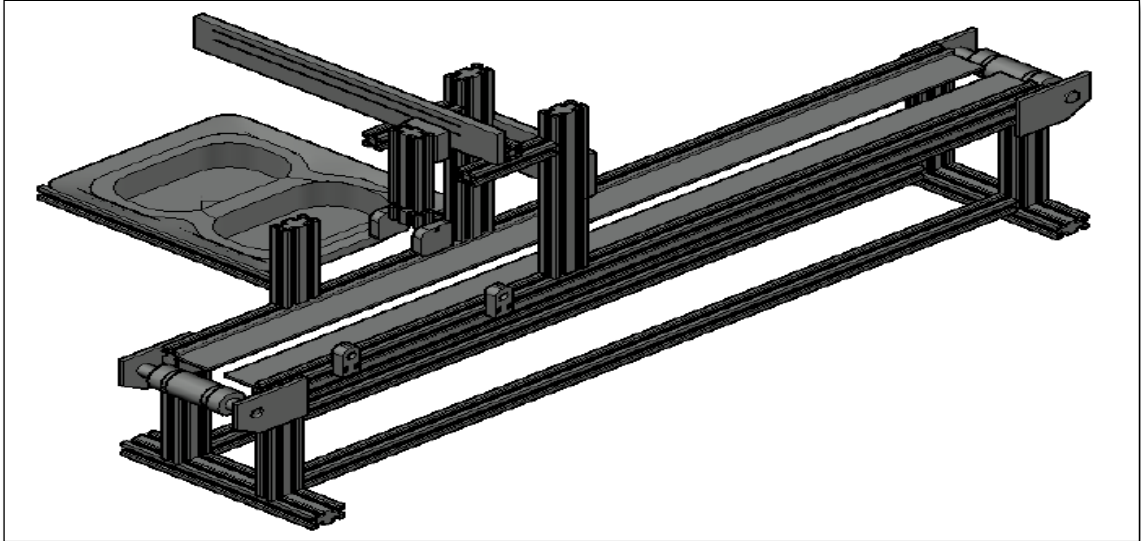


Ilustración 3-3: Diseño mecánico de la etapa de fosfatado y lavado.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Tabla 3-2: Parámetros y medidas de las piezas utilizadas en el diseño estructural de la etapa de fosfatado y lavado.

Parámetros		Medidas
Soporte del actuador neumático		
Tipo de material	Perfil de aluminio	20 mm de ancho x 40mm de largo x 0,6 mm de espesor. 20 mm de ancho x 20 mm de largo x 0.6mm de espesor
Cantidad	Material	
2	Perfil de aluminio	265mm de 40X20 mm
1	Perfil de aluminio	290mm de 20X20 mm
2	Perfil de aluminio	100mm de 20X20 mm
1	Perfil de aluminio	26mm de 40X20 mm
Soporte de la Tina		
Tipo de material	Perfil de aluminio	20 mm de ancho x 40mm de largo x 0,6 mm de espesor. 20 mm de ancho x 20 mm de largo x 0.6mm de espesor
Cantidad	Material	
2	Perfil de aluminio	280mm 20X20 mm
1	Perfil de aluminio	125mm 20X20mm

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.2.3 Representación mecánica de etapa de pintado y secado.

La creación de la configuración arquitectónica relativa a la etapa de aplicación de pintura y al proceso de secado se hace acorde a las medidas esenciales para la aplicación de pintura y al ciclo de secado de la carrocería. La estructura se compone utilizando perfiles de aluminio de tipo T slot. El ensamblaje efectuado permite replicar la sección relacionada con la aplicación de la pintura, así como el segmento operativo correspondiente al procedimiento de secado de la capa de pintura en la superficie de la carrocería. En la Ilustración 3-4: se muestra la representación mecánica de la configuración de la etapa de aplicación de pintura y secado en la carrocería.

Para el diseño de las piezas que conforma la estructura de las etapas de pintado y secado se consideró las diferentes medidas (Tabla 3-3:) de acuerdo a las medidas de la banda transportadora para el acople de la estructura y el espacio que ocupara el proyecto en el laboratorio de automatización de la FIE-ESPOCH al construir la línea de fabricación de autobuses.

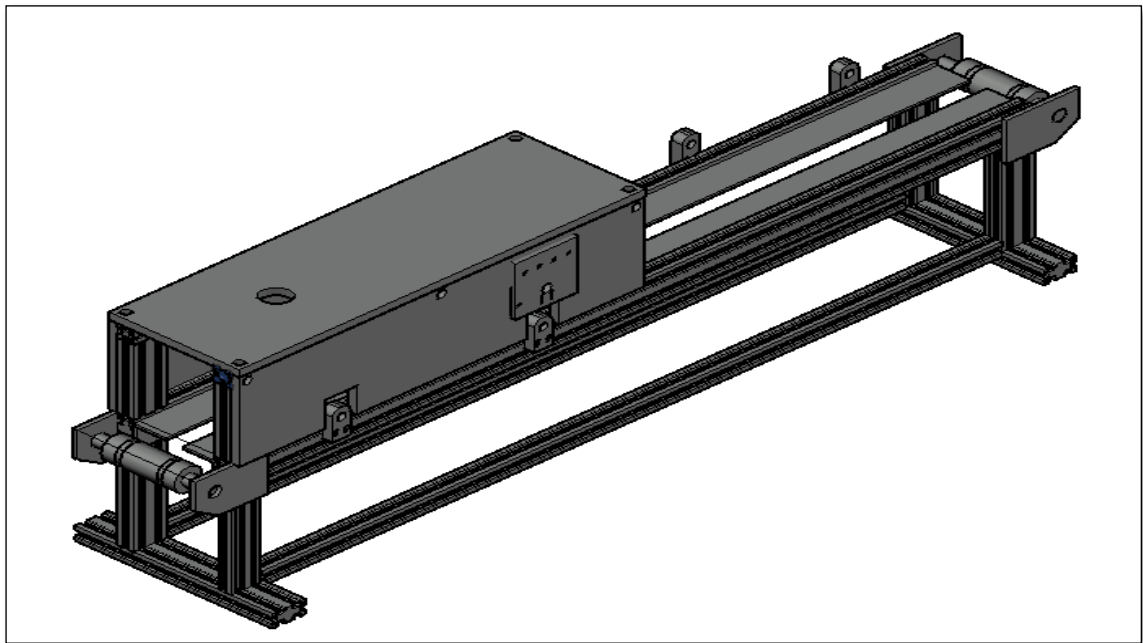


Ilustración 3-4: Diseño mecánico etapa de pintado y secado de pintura.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Tabla 3-3: Parámetros y medidas de las piezas utilizadas en el diseño estructural de la etapa de las etapas de pintado y secado.

Parámetros		Medidas
Tipo de material	Perfil de aluminio	20 mm de ancho x 40mm de largo x 0,6 mm de espesor. 20 mm de ancho x 20 mm de largo x 0.6mm de espesor
Largo		500 mm
Alto		143mm
Ancho		140mm
Tipo de material	Acrílico	
2 acrílicos		505 x 125 mm
1 acrílico		140 x 505 mm

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.2.4 Ensamblaje estructural y diagrama PI&D

En la Ilustración 3-5:: se representa el ensamblaje mecánico completo del modelo didáctico, en el que van integrado cada etapa. Se integra el diagrama PI&D (Proporcional Integral Derivativo) (Proporcional Integral Derivativo) que describe el funcionamiento de todo el proceso, describiendo cada una de las etapas como son: la etapa de la banda transportadora, la etapa de fosfatado y lavado, la etapa de pintado y por ultimo la etapa de secado, como se muestra en la Ilustración 3-6:

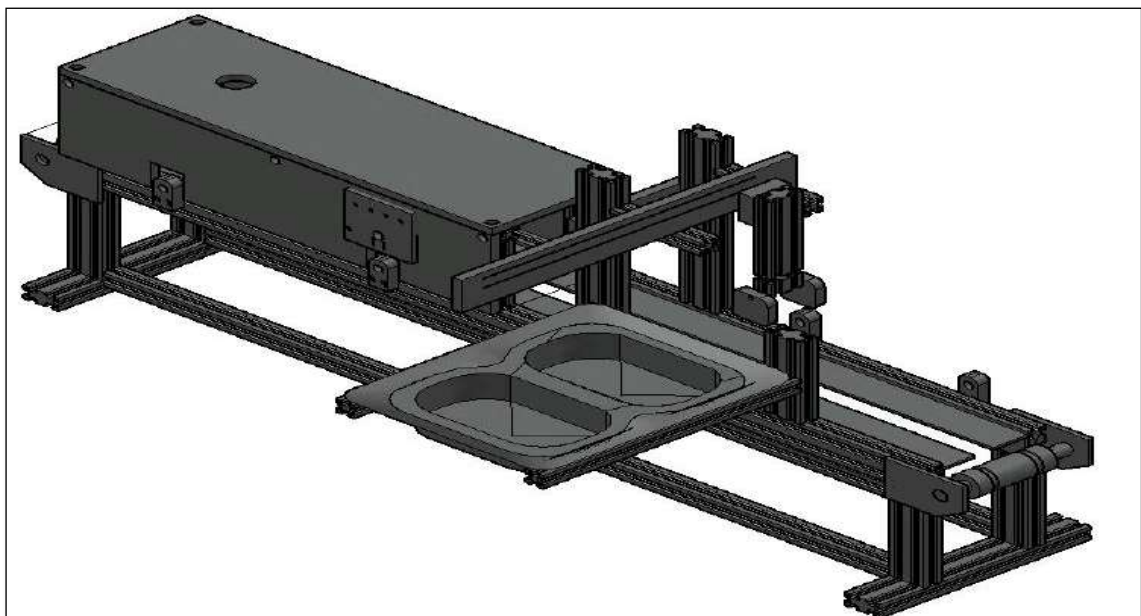


Ilustración 3-5: Diseño ensamblaje de las diferentes piezas de las etapas consideradas en el proyecto.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

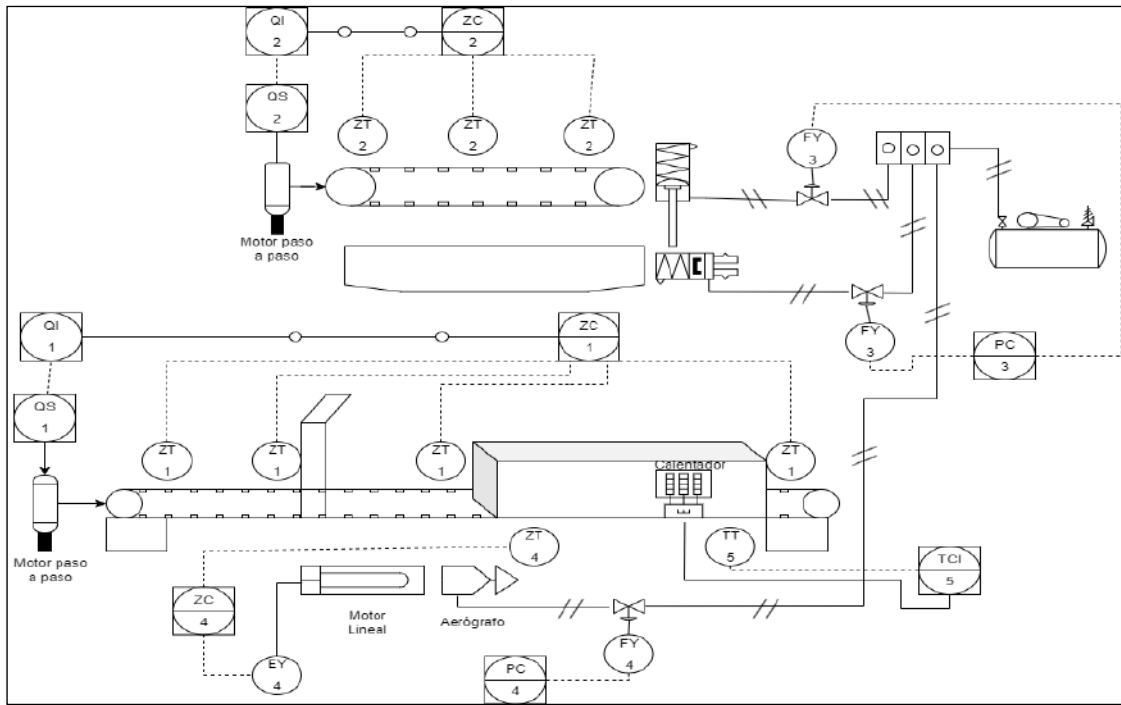


Ilustración 3-6: Diagrama PI&D del proceso.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.3 Diseño neumático del módulo didáctico.

Las etapas de fosfatado y lavado y la etapa de pintado son de carácter neumático por ende se realizó una simulación del circuito neumático en el software FluidSIM, el cual permitió la selección de elementos neumáticos necesarios para el buen funcionamiento de los dispositivos neumáticos antes de realizar la programación en el PLC.

3.3.1 Selección de los elementos neumáticos.

En este apartado se describe los elementos neumáticos utilizados para la implementación del módulo didáctico para procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías en la línea de fabricación de autobuses.

3.3.2 Electroválvula XCPC 4V110-06

Las electroválvulas monoestables 5/2 se accionan por un impulso eléctrico en uno de sus extremos, poseen retorno a través del muelle ubicado en su otro extremo (Ilustración 3-7: a)). La electroválvula que cumple con el propósito fue el XCPC 4V110-06 representado en la Ilustración 3-7: b). Las electroválvulas monoestables necesitan de un accionamiento constante (eléctrico o manual) para entrar en la segunda posición permitiendo el paso del aire hacia el actuador, el retorno a su primera posición o estado de reposo se realiza por medio del muelle. El proceso

permite que los actuadores realicen la acción estimada. Las características técnicas del dispositivo se describen en la (Tabla 3-4:)



Ilustración 3-7: a) Símbolo neumático de la electroválvula, b) Válvula monoestable 5vías 2 posiciones XPCPC.

Fuente: (Rome Co Industrial, 2018)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Tabla 3-4: Descripción técnica de la electroválvula AIRTAC4V110-06

Marca	XPCPC
Modelo	4V110-06
Tipo de válvula	5 vías 2 posiciones
Voltaje	24 V DC
Potencia	2.5 W
Presión de operación	1.5-8 Bar.
Tiempo de activación	0.05 S.
Tipo de material	Aleación de aluminio
Tamaño de puerto	G1/8"
Protección	NEMA F e IP65 (NEMA4)
Temperatura	5°C-50°C

Fuente: (Rome Co Industrial, 2018)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.3.3 Cilindro de doble vástago TAILONZ TN10X75-S

El cilindro emplea un mecanismo de amortiguación al final de la carrera para ajustar la carrea del cilindro y aliviar el impacto, como se muestra en la Ilustración 3-8: a). Los pistones se desplazan horizontalmente (avance y retroceso) impulsado por el aire comprimido. Se utiliza este cilindro en la etapa de fosfatado y lavado de la carrocería para sumergir la carrocería en la solución en diferentes soluciones (fosfato y lavado) se puede visualizar en la Ilustración 3-8: b). Las características técnicas del mismo se presentan en la Tabla 3-5:

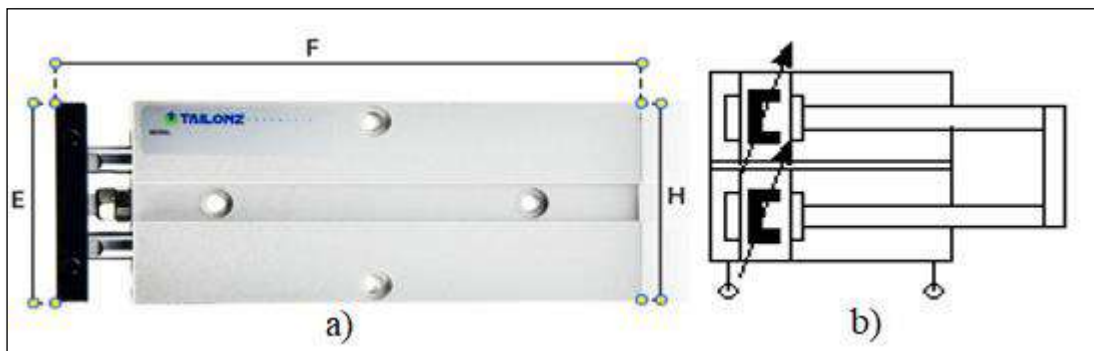


Ilustración 3-8: a) Cilindro vástago doble de doble efecto TAILONZ, b) símbolo del cilindro vástago doble.

Fuente:(TAILONZ, 2022)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Tabla 3-5: Principales características del cilindro vástago doble TN16X10S.

Tipo de funcionamiento	Doble efecto
Tipo de fabricación	Compacto
Serie	TN10X75S
Presión de operación	0.1 – 0.8 MPa
Fluido	Aire filtrado

Fuente:(Amazon, 2021)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.3.4 Diagrama esquemático del funcionamiento de los actuadores.

En la Ilustración 3-9: se muestra el esquema de las conexiones y elementos neumáticos que forman parte del actuador neumático. Por la siguiente Tabla 3-6: se detallan los elementos utilizados.

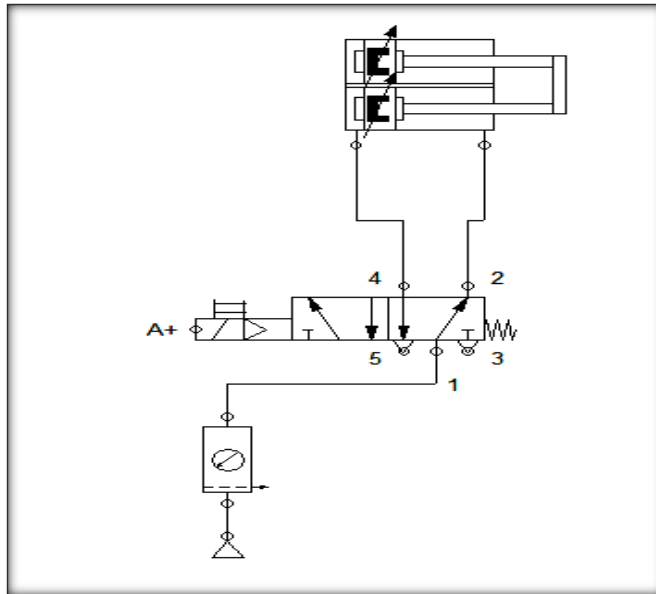


Ilustración 3-9: Diagrama esquemático neumático de la etapa de fosfatado y lavado.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Tabla 3-6: Descripción de los elementos neumáticos de fosfatado y lavado.

	Descripción
A	Fuente de aire comprimido
B	Unidad de mantenimiento
C	Válvula de 5/2 vías
D	Cilindro neumático de vástago doble.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.4 Selección de componentes hardware

La elección de los materiales se realizó considerando las especificaciones técnicas necesarias para lograr un funcionamiento eficiente de todos los dispositivos eléctricos. En lo que respecta a la organización de los tableros eléctricos, estos incorporan componentes de control, dispositivos de campo y medidas de protección particulares con el propósito de asegurar un desempeño seguro y efectivo.

3.4.1 PLC WECON LX5S

Es imprescindible comprender tanto la estructura como la configuración de interconexión. En este contexto, nos apoyamos en los manuales de operación de los dispositivos o las hojas de

especificaciones (datasheet), lo que nos permite identificar las capacidades, componentes y estructura de los dispositivos. Para lograr esto, es necesario definir ciertos criterios. Dado que estamos tratando con un módulo experimental, la disposición de las interconexiones de los dispositivos de campo puede ser alterada. Por lo tanto, es fundamental detallar el enfoque operativo de los autómatas utilizados para facilitar la ejecución de tareas y la implementación de mejoras en el futuro.

3.4.2 Partes del PLC WECON LX5S

Es su composición a manera de descripción general el autómata está compuesto por:

- 16 entradas digitales
 - Entradas de alta velocidad de hasta 200 KHz.
 - Entradas para 24 VDC.
- 16 salidas digitales
 - Salidas tipo relé.
 - Salidas de 24 VDC.
- Puertos de comunicación
 - Conexión RS485.
 - Conexión Ethernet.
 - Puerto de programación USB mini-B.

Las diferentes partes del PLC se muestran a continuación en la Ilustración 3-10:

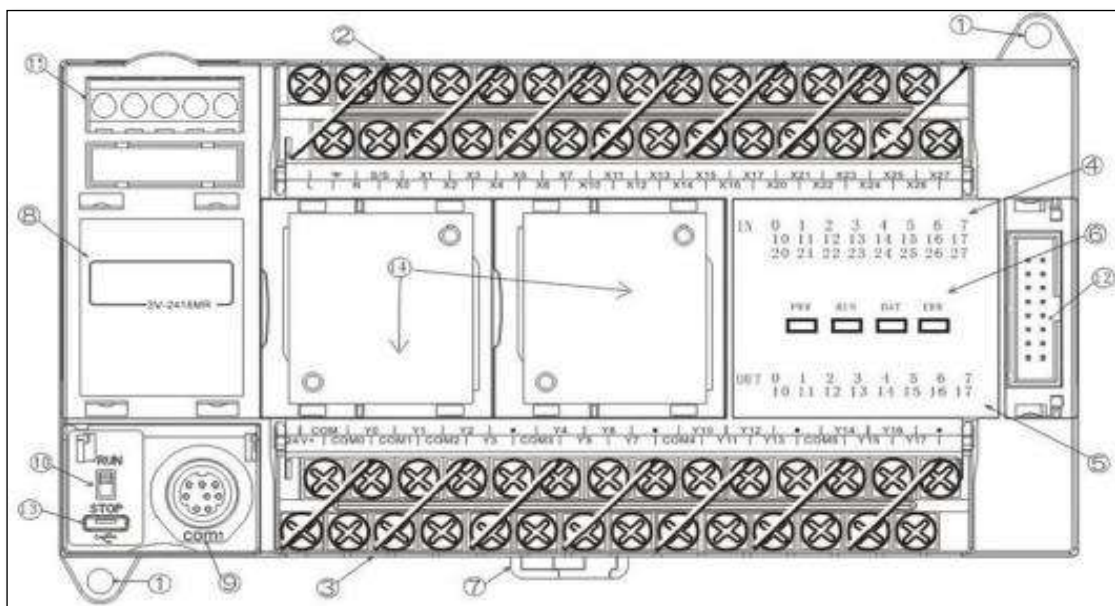


Ilustración 3-10: Partes del PLC WECON LX5S 1616MR.

Fuente: (Wecon, [sin fecha])

Al realizar la manipulación del cableado de los dispositivos conectados, es necesario comprender el funcionamiento operativo de cada componente es por tal motivo la especificación de sus partes como se muestra en la Tabla 3-7:

Tabla 3-7: Descripción de componentes del PLC Wecon LX5S

Numero	Descripción
1	Agujero de montaje (\varnothing : 4,5)
2	Fuente de alimentación y terminal de señal de entrada
3	Fuente de alimentación de salida de 24 V y terminal de salida
4	Indicador de entrada
5	Indicador de salida
6	Indicador de estado del PLC a) PWR: luz de encendido b) CORRER: luz de marcha c) BAT: luz de baja potencia d) ERR: parpadea cuando el programa está mal; e) siempre encendido cuando ocurre un error de CPU
7	Clip de montaje en riel DIN
8	Placa de cubierta
9	Puerto COM1 RS422
10	Interruptor RUN/STOP
11	Puerto COM1/COM2/Puerto RS485/Ethernet
12	Interfaz del módulo de expansión
13	Puerto micro USB
14	Ranura para placa BD

Fuente: (Wecon)

3.4.3 Conexión de entradas y salidas

El diagrama es NPN, si S/S está conectado a polo negativo, X es conectado al polo positivo, el método de conexión se muestra en la Ilustración 3-11:

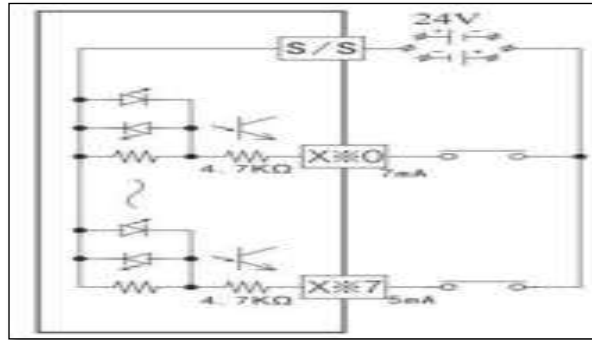


Ilustración 3-11:Diagrama de cableado de las entradas del PLC WECON LX5S

Fuente: (Wecon, [sin fecha])

Las salidas del PLC son de tipo relé y soportan hasta 250 VAC y 30 VDC con una corriente máxima de hasta 2 A (Ilustración 3-12:).

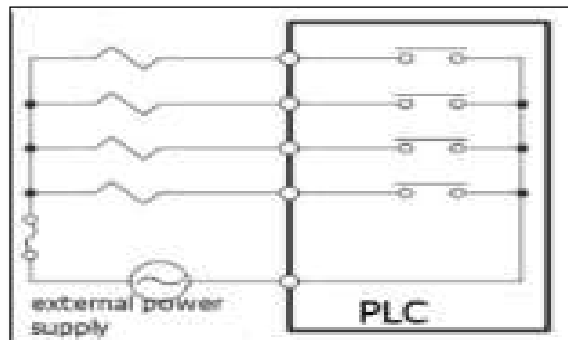


Ilustración 3-12: Diagrama de cableado de las salidas del PLC WECON LX5S.

Fuente: (Wecon)

Para el cableado del PLC de forma física se realiza de la manera en la que se muestra en la Ilustración 3-13: donde se especifica las diferentes conexiones a realizarse para el correcto funcionamiento del PLC Wecon.

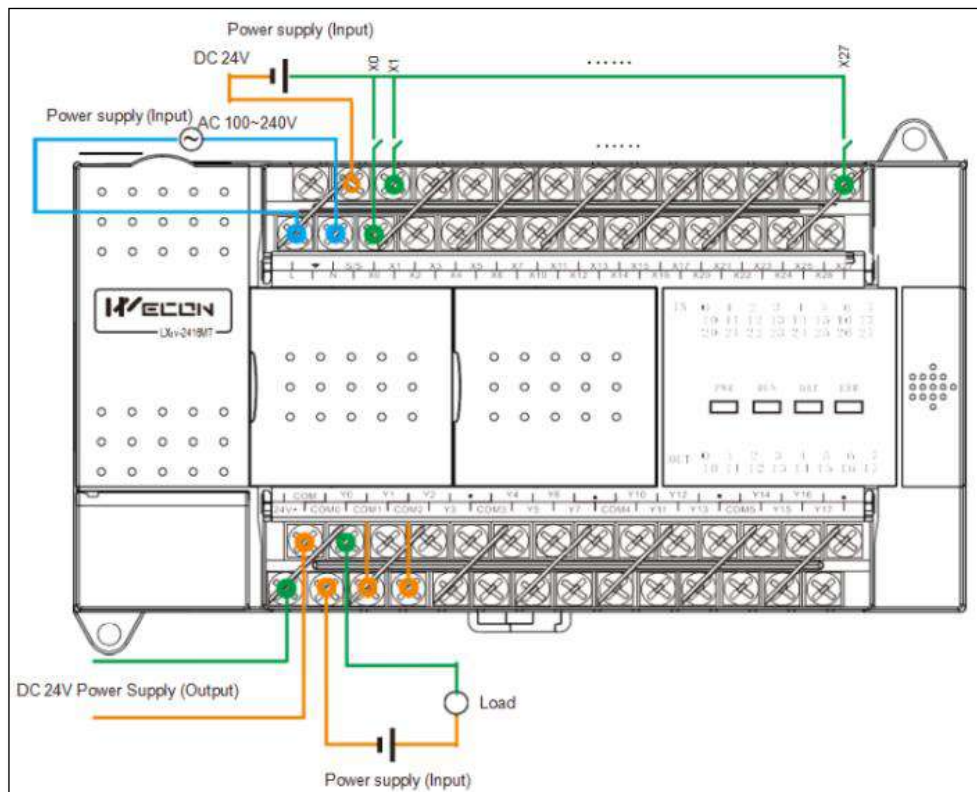


Ilustración 3-13: Demostración de cableado del PLC Wecon.

Fuente: (Wecon, [sin fecha])

3.4.4 Elementos hardware de la etapa de la banda transportadora

Se detalla el hardware utilizado en el desarrollo del módulo, en la instalación y personalización de la estación de trabajo del laboratorio de Automatización Industrial FIE-ESPOCH. Para este propósito, se ha seleccionado el autómata programable PLC Wecon LX5S 1616MR, como se muestra en la Ilustración 3-14: Este PLC cuenta con 16 entradas y 16 salidas, con entradas digitales y salidas tipo relé. Además, dispone de conectividad Ethernet y un cable de programación micro USB.

La elección de este PLC se basa en su amplio número de entradas y salidas, lo que lo hace ideal para el control de procesos que requieren un alto número de sensores y actuadores. Esto lo convierte en una opción idónea para supervisar y controlar todo el proceso del módulo presentado en el proyecto.

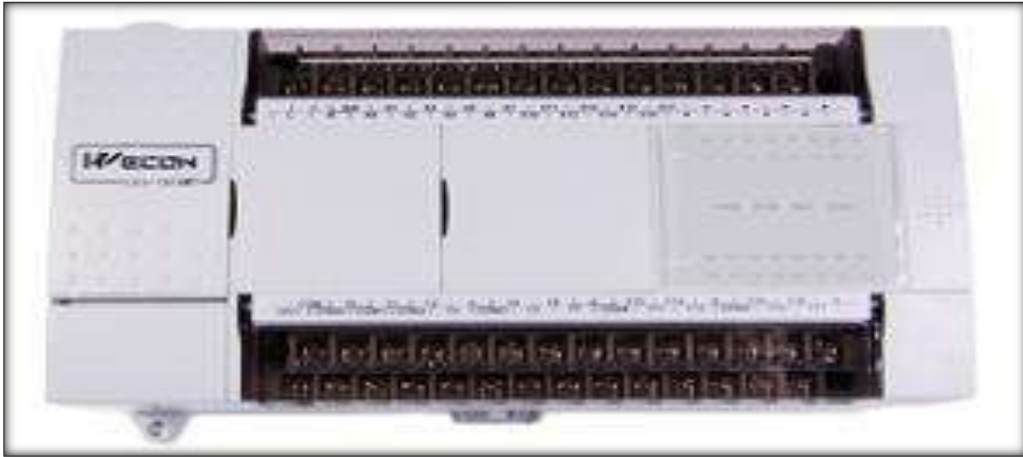


Ilustración 3-14: PLC WECON LX5S 1616MR.

Fuente: (WECON, 2022)

Esta etapa está compuesta por una fuente de alimentación de 5 AMP y 24 VDC, diseñada específicamente para suministrar energía a las salidas de los PLC y a varios componentes del módulo en cuestión. Esta fuente de alimentación se puede visualizar en la Ilustración 3-15: proporcionando una imagen clara del componente utilizado.



Ilustración 3-15: Fuente de alimentación 24VDC a 5A.

Fuente: (MECATRONICA, 2023)

El Controlador Lógico Programable (PLC) recibe las instrucciones de inicio, parada y emergencia a través de pulsadores ubicados en el cuadro de control. Estos pulsadores operan a una tensión de corriente continua de 24 VDC, como se muestra en la Ilustración 3-16: Dichos pulsadores están conectados directamente a las entradas del PLC, estableciendo así una interfaz para la transmisión de señales de control que permiten al PLC ejecutar las acciones correspondientes según las instrucciones recibidas.



Ilustración 3-16: Pulsadores de inicio, paro y seta de emergencia

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

La tracción de la banda transportadora se realiza mediante un motor paso a paso NEMA 23 23HS30-2804S, como se muestra en la Ilustración 3-17: Este motor opera a una tensión de 24 VDC y presenta un torque de 1.9 Nm. Su función principal es proporcionar el movimiento y transporte de la carrocería a lo largo de los distintos puntos de trabajo implementados en el módulo.



Ilustración 3-17: Motor NEMA 23 23HS30-2804S.

Fuente: (Amazon, 2023)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

El control de la corriente de funcionamiento y los pasos del motor se realizan con el driver TB6600, como se observa en la Ilustración 3-18: Este driver recibe las señales de frecuencia, velocidad requerida para el movimiento del motor e instrucciones el cambio de dirección correspondientes. A su vez, el driver convierte estas señales en impulsos de pasos necesarios para el adecuado funcionamiento del motor, asegurando un control preciso y eficiente de su desplazamiento.

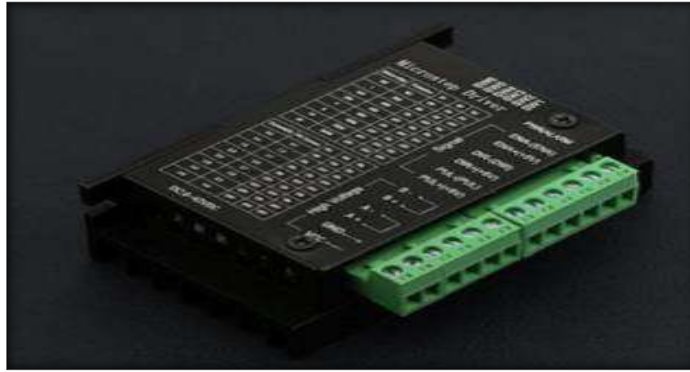


Ilustración 3-18: Driver TB6600.

Fuente: (Electronilab, 2022)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

El motor de la banda transportadora es capaz de operar a diversas velocidades y también puede invertir su dirección de giro cuando sea necesario. Para lograr esto, se utiliza un generador de pulsos, como se muestra en la Ilustración 3-19: Este generador recibe las señales provenientes del PLC, las interpreta y genera pulsos modulados por ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés) para controlar el funcionamiento del motor. Estos pulsos PWM regulan la cantidad de energía suministrada al motor, permitiendo así ajustar su velocidad y dirección de giro según las instrucciones enviadas desde el sistema de control.



Ilustración 3-19: Generador de pulsos PWM ZK-SMC02

Fuente: (ebay, 2023)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Los puntos de parada de la carrocería en diferentes etapas del proceso serán determinados por sensores inductivos, como se muestra en la Ilustración 3-20: Estos sensores están diseñados para detectar metales a una distancia de hasta 4 mm. El cable de conexión del sensor presenta una codificación de colores: el cable café corresponde al positivo, el cable azul al negativo y el cable negro se utiliza para la conmutación activa al detectar la presencia de metal. Así,

cuando el sensor detecta un objeto metálico dentro de su rango de detección, la señal de conmutación se activa, indicando la necesidad de parar en el proceso de la carrocería en el punto correspondiente.



Ilustración 3-20: Sensor Inductivo no rasante de 3 hilos.

Fuente: (Bx, 2017)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

La interconexión entre el módulo del Controlador Lógico Programable (PLC) y el módulo de Control del Motor ubicado en la banda transportadora se establecerá mediante un cable de comunicación DB9, tal como se muestra en la Ilustración 3-21: Este cable desplegará una funcionalidad que permitirá el transporte de señales de control desde el PLC, con el propósito de transmitir órdenes específicas para el correcto funcionamiento de la banda transportadora.

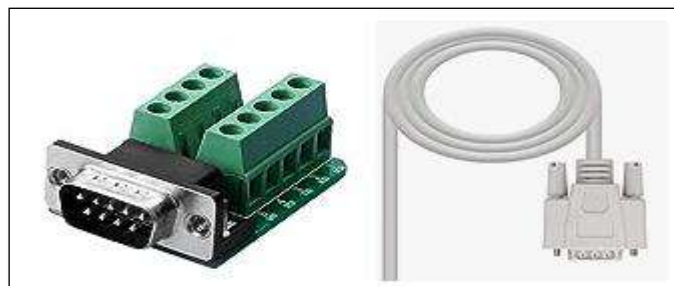


Ilustración 3-21: Módulo y cable de comunicación DB9.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

A continuación, se proporciona la lista detallada de los componentes de la etapa de la banda transportadora, como se muestra en la Tabla 3-8: Esta tabla incluye cada elemento junto con una descripción concisa de su función específica dentro del sistema. Además, en la Ilustración 3-22: se visualiza el montaje de todos los componentes hardware descritos anteriormente correspondientes la banda transportadora y en la Ilustración 3-23: correspondientes al montaje del centro de mando.

Tabla 3-8: Hardware del segmento banda transportadora.

Cantidad	Hardware	Tipo	Descripción
1	PLC WECON LX5S	PLC	PLC salida de transistor 16/16 entradas-salidas
1	Fuente de alimentación de 24 VDC y 5 A.		Proporciona la alimentación de 24 voltios para los diferentes elementos del modulo
1	MOTOR PASO A PASO NEMA 23	23HS30-2804S	Motor paso a paso de 2.8 A – 24 V DC
1	Driver de control	DRIVER TB6600	Selección de corriente de operación y 6 tipos de cantidades de pasos.
1	Generador de pulsos PWM	Generador de Pulsos	Permite controlar la velocidad del motor, variando la frecuencia y el sentido de giro del motor paso a paso.
4	Sensor	Inductivo	Para detectar la posición de la carrocería en la banda transportadora.
1	Módulo de adaptador serial	DB9	Para interconectar el motor con el centro de mando.
2	Lámpara		Indicadores del proceso
3	Pulsadores		De inicio, paro y reset del proceso.
1	Pulsador Emergencia		Facilita la detención del proceso ante posibles fallos o evitar accidentes.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

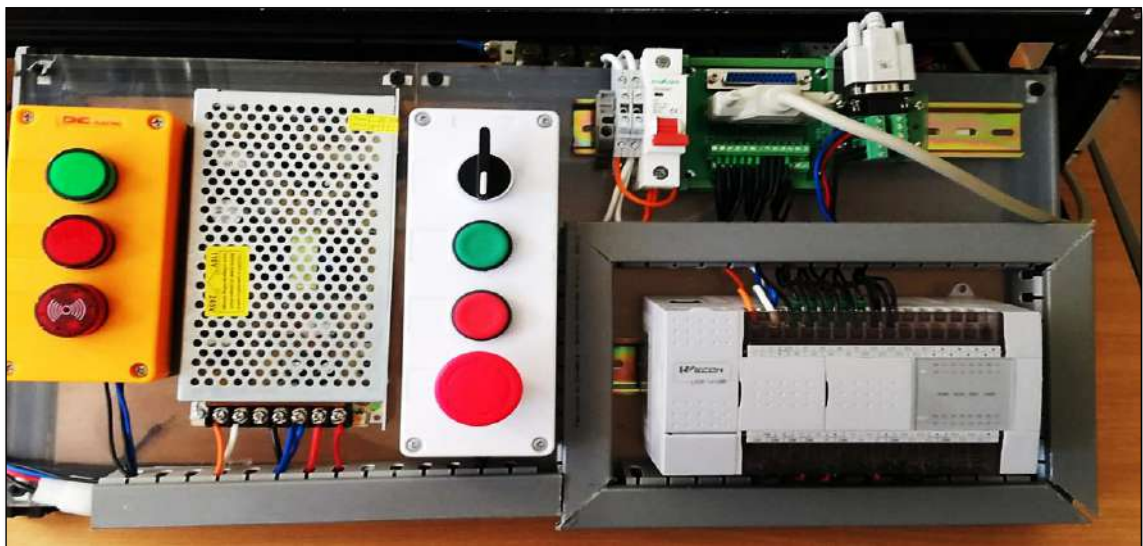


Ilustración 3-22: Mando de control del módulo didáctico.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

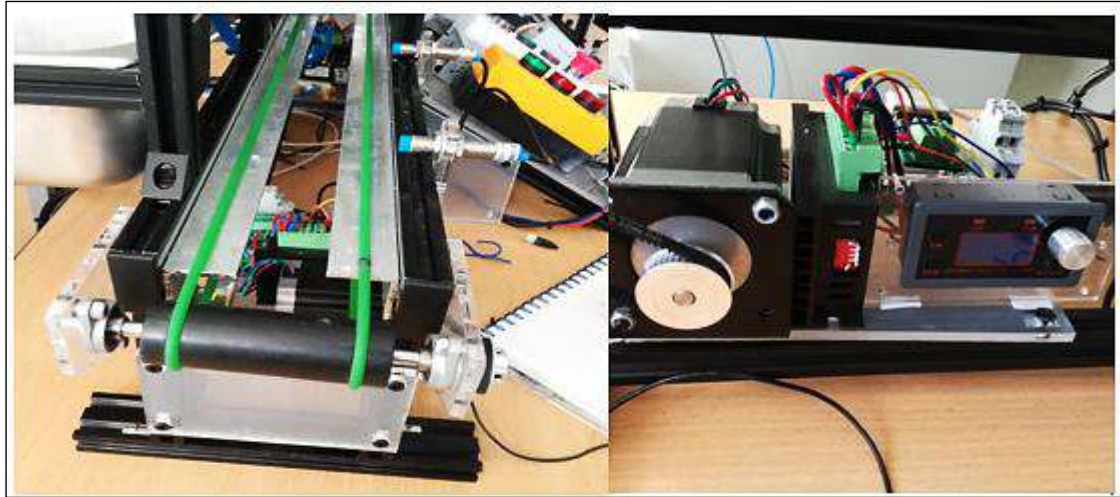


Ilustración 3-23: Elementos Hardware utilizados en el montaje de la etapa de la Banda transportadora

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.4.5 *Elementos hardware de la etapa de fosfatado y lavado.*

A continuación, se presenta el conjunto de dispositivos de hardware utilizados en la etapa de fosfatado y lavado. Estos elementos se seleccionaron e instalaron en la estación de trabajo del módulo didáctico implementado.

Para el desplazamiento y manipulación de objetos, se ha incorporado un manipulador neumático de tipo y-z, también conocido como pick and place. Este manipulador será controlado mediante un Motor paso a paso lineal FSK30 JE300T02, el cual puede ser apreciado en la Ilustración 3-24: El motor funciona con una alimentación de 24 VDC y proporciona un torque de 30 Nm. Su función principal consiste en mover los cilindros a lo largo de los distintos puntos del pórtico, permitiendo así llevar a cabo las tareas de fosfatado y lavado de la carrocería de manera eficiente y precisa



Ilustración 3-24: Motor paso a paso FSK30 JE300T02.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

El control de la corriente de funcionamiento y los pasos del motor se realizan con el driver TB6600, como se observa en la Ilustración 3-18: Este driver recibe las señales de frecuencia y velocidad necesarias para el movimiento del motor y las instrucciones de parada correspondientes. A continuación, el driver convierte estas señales en señales de pasos que permiten el correcto funcionamiento del motor.

Por otro lado, el motor puede operar a diferentes velocidades y también puede invertir su dirección de giro si es necesario. Para lograr esto, se utiliza un generador de pulsos, el cual se muestra en la Ilustración 3-25: Este generador recibe las señales provenientes del PLC, las interpreta y genera pulsos modulados por ancho de pulso (PWM) para controlar el funcionamiento del motor en el pórtico. Estos pulsos PWM regulan la cantidad de energía suministrada al motor, permitiendo ajustar su velocidad y dirección de giro según las instrucciones enviadas desde el sistema de control.

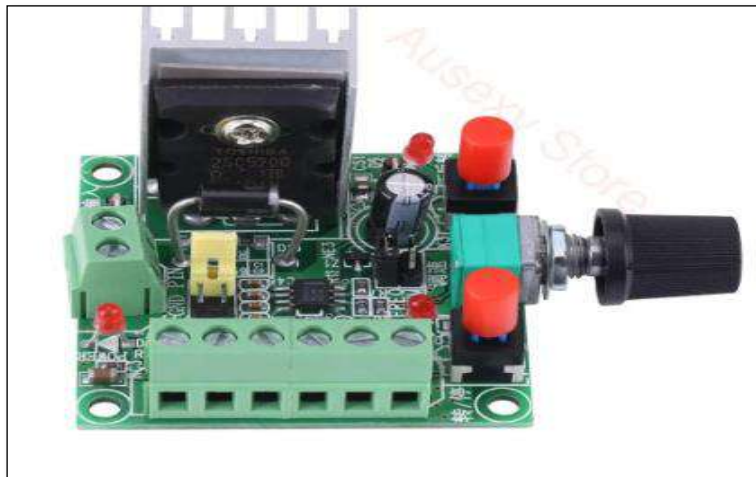


Ilustración 3-25: Generador de pulsos PWM.

Fuente: (AliExpress)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

El control del paro del cilindro en los puntos de la etapa se realizará con tres sensores magnéticos de dos hilos, como se aprecia en la Ilustración 3-26: Estos sensores están diseñados para detectar la presencia de los cilindros y activarse en consecuencia. Cada sensor cuenta con un LED indicador que se ilumina al detectar la presencia del cilindro, lo que permite visualizar fácilmente su activación. De esta manera, estos sensores magnéticos proporcionan información precisa sobre la posición del cilindro, permitiendo un control preciso y seguro del proceso.



Ilustración 3-26: Sensor magnético de 2 hilos CS1-U.

Fuente: (Amazon, 2019)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

El suministro de aire en el sistema se realiza con mangueras de 16 mm² de diámetro. Estas mangueras son utilizadas debido a la presencia de válvulas neumáticas de distribución de 5 vías y 2 posiciones del tipo XCPX (4V110-06), como se muestra en la Ilustración 3-27: Estas válvulas funcionan con una tensión de alimentación de 24 VDC y se activan mediante el uso de solenoides. Cabe destacar que estas válvulas tienen un tiempo de respuesta extremadamente rápido de 0.05 segundos, lo que permite un control ágil y preciso del flujo de aire.

Además, estas válvulas neumáticas tienen una presión máxima de trabajo de 1.2 MPa y una temperatura de funcionamiento que oscila entre 5 y 50 °C. Estas características aseguran un rendimiento óptimo en entornos industriales, proporcionando una distribución confiable y eficiente del aire comprimido en el sistema.



Ilustración 3-27: Electroválvula de 5 vías y 2 posiciones XCPX 4V110-06.

Fuente: (Rome Co Industrial, 2018)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

El desplazamiento en el eje Y del pórtico del manipulador neumático se logra mediante el uso de cilindros de doble efecto, los cuales se pueden observar en la Ilustración 3-28: Estos cilindros están diseñados para operar con una presión de 1 MPa y tienen un recorrido de 10 mm. Su función principal es mantener la carrocería firmemente anclada al pórtico durante los procesos de fosfatado y lavado.

Gracias al doble efecto de los cilindros, se logra un control preciso del movimiento en el eje Y del pórtico. Al aplicar presión de aire en un extremo del cilindro, se produce un desplazamiento en una dirección específica, y al aplicar presión en el otro extremo, se obtiene el desplazamiento en la dirección opuesta. Esto permite un posicionamiento preciso y estable de la carrocería mientras se somete a los procesos de fosfatado y lavado.



Ilustración 3-28: Cilindro neumático vástago doble
TN10X75-S.

Fuente: (TAILONZ, 2022)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

La sujeción de la carrocería se realiza con una pinza neumática, como se muestra en la Ilustración 3-29: Esta pinza funciona a una presión de operación de 1 MPa y se activa cuando el actuador neumático se posiciona sobre ella. Una vez activada, la pinza se cerrará, asegurando un agarre firme de la carrocería durante todo el proceso de fosfatado y lavado.

La pinza neumática utiliza el principio de la presión del aire comprimido para ejercer la fuerza necesaria y mantener la sujeción de la carrocería de manera segura y estable. Esto permite evitar movimientos indeseados durante el proceso y garantiza que la carrocería permanezca en su posición correcta. La pinza se mantendrá cerrada mientras dure el proceso de fosfatado y lavado, asegurando así la estabilidad y el correcto desarrollo de las tareas requeridas.

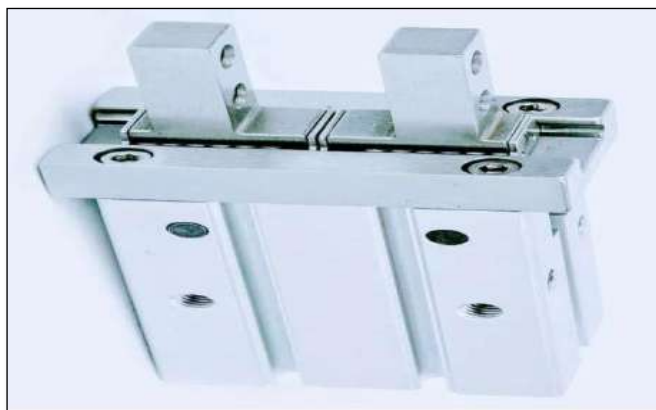


Ilustración 3-29: Pinza neumática MHZ2-16D.

Fuente: (Indiamart)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

La comunicación entre el módulo del Controlador Lógico Programable (PLC) y el módulo de las electroválvulas se hará con un cable de comunicación DB25, como se observa en la Ilustración 3-30: Este cable transmitirá las señales de control desde el PLC, proporcionando las órdenes específicas que deben cumplirse para el correcto funcionamiento de la etapa de fosfatado y lavado.

El cable de comunicación DB25 es una conexión estándar que garantiza una transmisión confiable de las señales entre el PLC y las electroválvulas. Este cable tiene 25 pines y puede transportar múltiples señales digitales y analógicas de control. Gracias a esta conexión, el PLC puede enviar las instrucciones precisas a las electroválvulas para que ejecuten las acciones necesarias durante el proceso de fosfatado y lavado de manera coordinada y eficiente.



Ilustración 3-30: Cable de comunicación DB25.

Fuente: (Portal Tecnológico)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

A continuación, se presenta la lista detallada de los componentes utilizados en la etapa de la banda transportadora, como se muestra en la Tabla 3-9: Esta tabla proporciona información específica sobre cada elemento, junto con una breve descripción de su función dentro del sistema. Además, en la Ilustración 3-31: se visualiza el montaje de todos los componentes hardware descritos anteriormente correspondientes la etapa de Fosfatado y Lavado.

Tabla 3-9: Hardware etapa de fosfatado y lavado.

Cantidad	Hardware	Tipo	Descripción
1	Motor lineal paso a paso	FSK30 JE300T02	Motor paso a paso de 1 A- 24 V DC, movimiento del tornillo sin fin.
1	Driver de control	DRIVER TB6600	Selección de corriente de operación y 6 tipos de cantidades de pasos.
1	Generador de pulsos PWM	Generador de Pulsos	Permite controlar la velocidad del motor, variando la frecuencia y el sentido de giro del motor paso a paso.
3	Sensor	Magnético	Detecta la presencia de un material magnético y realizar los paros para la etapa de fosfatado y lavado.
1	Módulo de montaje en carril DIN macho/hembra	DB25	Recepción de la señal de activación de los controladores del motor desde el centro de mando.
2	electroválvulas 5/2	Neumática	Válvula monoestable de 5 vías 2 posiciones
1	Pinza	Neumática	Para sujetar la carecería
2	Cilindro doble efecto	Neumática	Se utiliza para ubicar la pinza en la posición de agarre y la otra para sujetar la carrocería.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

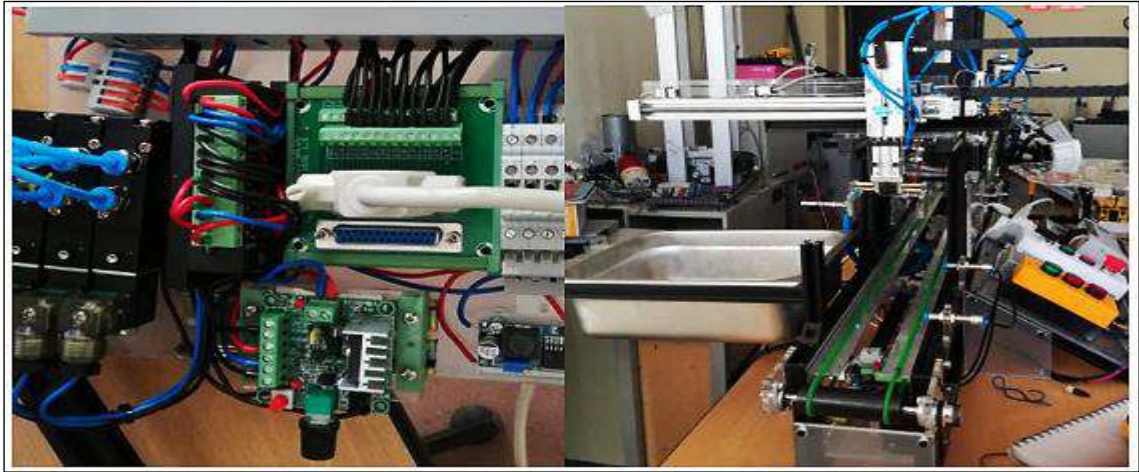


Ilustración 3-31: Elementos Hardware utilizados en el montaje de la etapa de fosfatado y lavado.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.4.6 Elementos hardware de la etapa de pintado.

A continuación, se presenta el conjunto de componentes hardware empleados en la fase de aplicación de pintura sobre la carrocería. Estos elementos se usan en el montaje y ajuste del procedimiento correspondiente al módulo didáctico implementado.

Para iniciar la secuencia de pintado de la carrocería, se requiere someterla a una fase de pre-secado posterior a la finalización del ciclo de lavado. Dicha etapa será efectuada mediante la activación de un ventilador de 24 voltios de corriente continua (VDC) que se exhibe en la Ilustración 3-32:. Este componente está instalado dentro de la cámara destinada a las operaciones de secado y aplicación de pintura.



Ilustración 3-32: Ventilador 24 VDC para pre-secado.

Fuente: (Galicia, 2022)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Para el pintado de la carrocería se utiliza un aerógrafo que requiere un suministro de aire

transportado por mangueras de 16 mm^2 de diámetro. Estas mangueras son necesarias debido a la presencia de válvulas neumáticas XCPX (4V110-06) de distribución de 5 vías y 2 posiciones, como se muestra en la Ilustración 3-27: Estas válvulas operan a una tensión de 24 VDC y se activan mediante solenoides, lo que les permite tener un tiempo de respuesta rápido de 0.05 segundos. Además, estas válvulas tienen una presión máxima de trabajo de 1.2 MPa y una amplia temperatura de funcionamiento de 5 a 50 °C.

El movimiento del aerógrafo se logra gracias a un motor lineal de corriente continua, representado en la Ilustración 3-33: Este motor funciona con una alimentación de 12 voltios de corriente continua y tiene una capacidad de 20 N. Su función principal es proporcionar un desplazamiento preciso y controlado del aerógrafo durante el proceso de pintado de la carrocería.

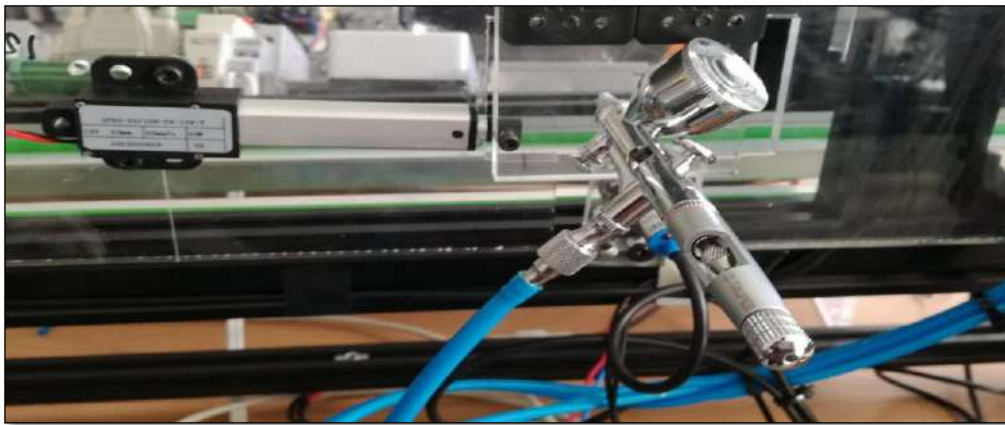


Ilustración 3-33: Motor con actuador lineal IP60-50, Aerógrafo TRUPER 3PZS

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

El motor, al funcionar con una tensión de 12 VDC, requiere de una fuente de alimentación adecuada. Para esto, se utiliza un circuito reductor que convierte la tensión de entrada de 24 VDC a 12 VDC. Este circuito, que puede ser observado en la Ilustración 3-34:, garantiza que el motor reciba la tensión correcta para su funcionamiento óptimo.

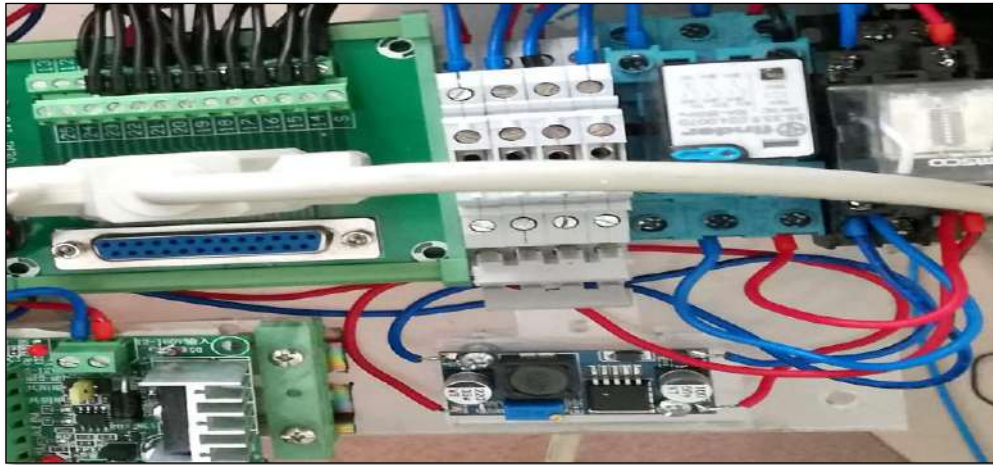


Ilustración 3-34: Circuito de reductor de voltaje de 24 VDC A 12VDC.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Por otro lado, la inversión del giro del motor se realiza con dos relés. Estos relés, también representados en la Ilustración 3-35: tienen la función de conmutar las polaridades de alimentación del motor. Al realizar esta conmutación, se invierte la polaridad de la tensión aplicada al motor, lo que a su vez invierte el sentido de giro del mismo. De esta manera, los relés son responsables de controlar y modificar la dirección del motor según sea necesario en el sistema.



Ilustración 3-35: Relé de potencia a 24 VDC.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

A continuación, se proporciona una lista detallada de los componentes utilizados en la etapa de pintado, como se muestra en la Tabla 3-10: Esta tabla incluye cada elemento junto con una breve descripción de su función específica dentro del sistema. Además, en la Ilustración 3-36: se visualiza el montaje de todos los componentes hardware descritos anteriormente correspondientes la etapa de Pintado.

Tabla 3-10: Hardware etapa de pintado.

Cantidad	Hardware	Tipo	Descripción
1	Ventilador 24 VDC	Eléctrico	Realiza un pre-secado de la carrocería proveniente del proceso de lavado
1	Motor con actuador lineal	IP60-50	Facilita el movimiento de aerógrafo que efectúa el pintado de la carrocería.
2	Relé	Eléctrico	Permite la inversión de giro del motor
1	Fuente de alimentación de 12 VDC	Eléctrico	Proporciona la alimentación para el motor DC
1	Aerógrafo		Permite realizar el pintado de la carrocería.
1	electroválvulas 5/2	Neumática	Válvula monoestable de 5 vías 2 posiciones, acciona el aerógrafo.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.



Ilustración 3-36: Elementos hardware utilizados en el montaje de la etapa de Pintado

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.4.7 Elementos hardware de la etapa de secado.

A continuación, se exhibe los elementos hardware empleados en la etapa de secado de la carrocería. Con el propósito de gestionar el perfil térmico durante el proceso de secado, se hace uso de un controlador de temperatura PID, tal como se observa en la Ilustración 3-37:. Este regulador es responsable de la monitorización de la temperatura presente en la cámara de secado, accionando una salida destinada a la calefacción del entorno para mantener un control muy preciso de la temperatura.

El regulador de temperatura PID se fundamenta en un algoritmo de control proporcional-integral-derivativo, el cual permite calibrar y sostener el nivel térmico con exactitud y

estabilidad. El sistema se vale de la retroalimentación proveniente de la señal térmica para calcular y ajustar de manera continua la producción de calor, garantizando así la consecución y el mantenimiento de la temperatura deseada dentro de la cámara de secado.

Esta meticulosa regulación de la temperatura resulta esencial para asegurar la eliminación de la humedad en la carrocería y lograr logros de índole superior en términos de calidad. El regulador de temperatura PID ofrece un nivel de control avanzado y fiable, habilitando ajustes

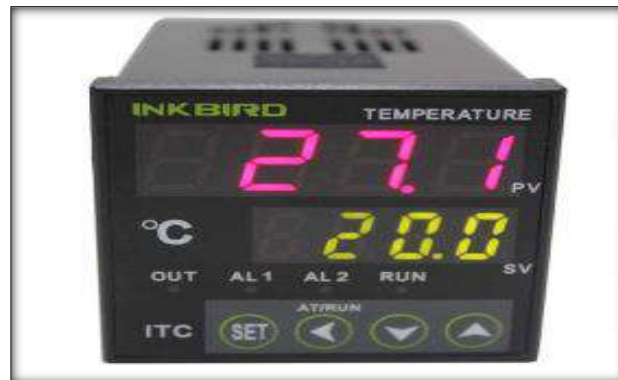


Ilustración 3-37: Controlador de temperatura PID
ITC-100VL

Fuente: (Ubuy, 2022)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

La temperatura de la cámara de secado se monitorea y mide con una termocupla tipo J, como se muestra en la Ilustración 3-38: La termocupla mide temperaturas en un rango específico y funciona generando voltaje según la diferencia de temperatura entre los dos puntos de la unión de metales diferentes.

En este caso, la termocupla tipo J se conecta al controlador de temperatura, estableciendo una interfaz para la transmisión de señales de voltaje proporcionadas por la termocupla. Estas señales de voltaje varían según la temperatura de la cámara de secado. El controlador de temperatura recibe estas señales y las interpreta para realizar los cálculos necesarios y mantener un control preciso de la temperatura en la cámara.

Gracias a la termocupla y al controlador de temperatura, se logra una medición confiable y precisa de la temperatura en la cámara de secado. Esto permite ajustar y controlar adecuadamente el suministro de calor en función de los requisitos del proceso, garantizando un secado eficiente y uniforme de la carrocería.



Ilustración 3-38: Termocupla tipo J.

Fuente: (Ubuy, 2022)

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Si la temperatura de la cámara de secado cae por debajo del umbral establecido y el controlador de temperatura emite una señal de activación, se procederá a encender una bombilla incandescente, como se muestra en la Ilustración 3-39: Esta bombilla incandescente, que funciona como un elemento calefactor, aportará calor adicional a la cámara de secado.

Se utiliza un SSR (relé de estado sólido) para la activación de la bombilla de calentamiento. La bombilla incandescente se elige específicamente por su capacidad para generar calor a través del efecto Joule. Al aplicar voltaje a la bombilla, el filamento interno se calienta y emite radiación térmica, contribuyendo al aumento de temperatura en la cámara. La potencia de la bombilla y su ubicación se determinan de acuerdo con los requisitos de calentamiento de la cámara y las características térmicas del sistema.



Ilustración 3-39: Bombilla incandescente.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

A continuación, se proporciona una lista detallada de los componentes utilizados en la etapa de secado, presentada en la Tabla 3-11: Esta tabla enumera cada elemento junto con una descripción exhaustiva de su función específica dentro del sistema. Además, en la Ilustración 3-40: se visualiza el montaje de todos los componentes hardware descritos anteriormente correspondientes la etapa de Secado.

Tabla 3-11: Hardware etapa de secado.

Cantidad	Hardware	Tipo	Descripción
1	Termocupla	J	Permite detectar la variación de temperatura en el horno.
2	Lámpara		Permite variar la temperatura del horno
3	Controlador de Temperatura	ITC-100VL	Permite controlar la temperatura requerida en el horno.
4	Relé de estado solido	SSR	Conmuta el calentador con una señal de voltaje en su bobina.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

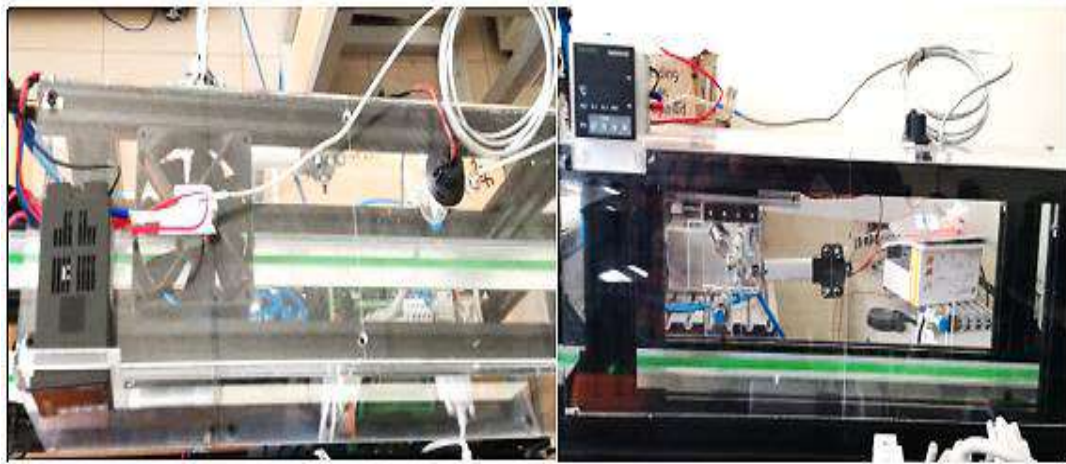


Ilustración 3-40: Elementos Hardware utilizados en el montaje de la etapa de secado.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.5 Diseño eléctrico y control para implementación del módulo didáctico.

Para garantizar la integridad del circuito eléctrico y protegerlo contra posibles fallos debido a cortocircuitos, es necesario implementar dispositivos de protección adecuados. En este caso, se optó por utilizar disyuntores magneto térmicos, como el breaker. Las dimensiones de estos dispositivos se determinan en función del consumo total del circuito, utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde

I_T : Consumo de corriente de todo el circuito

I_m : Consumo de corriente de cada elemento del circuito.

La ecuación (1) permite calcular el consumo total corriente del circuito eléctrico, lo cual es fundamental para seleccionar los disyuntores magneto térmicos adecuados. Estos dispositivos están diseñados para interrumpir la corriente eléctrica en caso de sobrecargas o cortocircuitos, protegiendo así el circuito y los componentes asociados.

Al elegir los disyuntores magneto térmicos apropiados basados en el consumo total del circuito, se asegura una protección efectiva y confiable contra posibles fallas eléctricas. Estos dispositivos son esenciales para mantener la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema eléctrico.

3.5.1 Consumo de corriente del módulo didáctico.

El módulo didáctico a implementar cuenta con diversas cargas eléctricas que deben considerarse en sus etapas de funcionamiento. Para proporcionar información detallada sobre el consumo de corriente de los dispositivos utilizados en el proceso, se presenta la Tabla 3-12: Tener en cuenta el consumo de corriente de cada dispositivo durante las diferentes etapas del proceso garantiza un diseño eléctrico eficiente y confiable. Además, permite prever y evitar sobrecargas en el sistema, optimizando el rendimiento global del módulo didáctico y asegurando una operación segura y sin interrupciones.

Tabla 3-12: Consumo de corriente de los elementos que comprenden el módulo didáctico.

Cantidad	Elemento	Corriente nominal Total
Etapas de la banda Transportadora		
1	PLC WECON	13500mA
2	Pulsadores (inicio, paro)	30mA
1	Pulsador de emergencia	10mA
1	Motor Paso a Paso	2800mA
1	Driver TB6600	5000mA
4	Sensor inductivo	300mA
3	Generador de señales PWM	4000mA
Etapas de Fosfatado y Lavado		
3	Sensor magnético	100mA
1	Motor Paso a Paso	1500mA
1	Driver TB6600	5000mA
1	Generador de señales PWM	2000mA
2	Electroválvulas 5/2	100mA

Cantidad	Elemento	Corriente nominal Total
Etapa de Pintado y Secado		
1	Motor lineal	250mA
1	Ventilador	230mA
1	Electroválvulas 5/2	100mA
1	Controlador de temperatura	130mA
1	Foco	400mA
Consumo de corriente a plena carga de los dispositivos		35.45A
Total, de Amperaje proporcionado por la fuente		5A

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.5.2 Dimensionamiento de conductores eléctricos

Para calcular y dimensionar el tendido de cables en el panel eléctrico implementado en el módulo didáctico, se consideraron las corrientes de consumo inherentes a los elementos de índole eléctrica y electrónica presentes. Por estas magnitudes, se eligió a los conductores para asegurar una administración energética.

En lo que respecta a las líneas de fase y neutro provenientes de la fuente de alimentación, se optó por la selección de conductores de cobre que se encuadran bajo la tipología TFF y que ostentan un calibre 18 AWG. Estos conductores demuestran una capacidad idónea para lidiar con niveles de corriente superiores, lo que conlleva a una estable y segura conexión propicia para el transporte de energía eléctrica en el panel.

Para el cableado interno del panel y los dispositivos actuadores que funcionan con corriente continua de 24 VDC, se determinó utilizar conductores de cobre flexible pertenecientes a la categoría TFF y cuyo calibre es de 22 AWG. Estos conductores, caracterizados por su perfil delgado y maleable, simplifican el proceso de instalación y manejo, especialmente en las áreas de confinamiento reducido dentro del panel. A su vez, el calibre 22 AWG se ajusta adecuadamente a la corriente nominal necesaria para los actuadores, garantizando así una transmisión eficiente de las señales de control.

La elección precisa de estos conductores particulares certifica un esquema de cableado pertinente y confiable en el seno del panel eléctrico en el contexto del módulo didáctico. Esta elección contribuye de igual manera a mantener una operación segura y eficiente en relación a los componentes eléctricos y electrónicos involucrados en el proceso educativo.

3.5.3 Breaker LS 6A

El disyuntor, conocido también como interruptor de circuito, se implementó como el interruptor de corte maestro en el circuito eléctrico del módulo didáctico. Su propósito primordial reside en habilitar el controlado encendido y apagado de este mismo circuito. En adición a su función de interruptor, el disyuntor desempeña un rol de vital relevancia en calidad de dispositivo de salvaguardia contra sobrecargas y cortocircuitos en el sistema. El disyuntor se representa en la Ilustración 3-41:.

En la Tabla 3-13: se presentan las especificaciones primordiales del disyuntor empleado. Dentro de este conjunto se abarcan la capacidad nominal de corriente y otros pormenores técnicos pertinentes al artefacto. El acceso a estos datos ostenta un carácter esencial con el propósito de asegurar una selección apropiada del disyuntor y garantizar una salvaguardia confiable y eficaz del módulo didáctico ante condiciones de elevada corriente en el circuito.



Ilustración 3-41: Breaker LS 6A.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Tabla 3-13: Principales características del breaker LS. 6A

Descripción	Características
Voltaje nominal	120 V
Numero de Polos	1
Terminal de conexión	Borne con tornillo prisionero
Sistema de conexión	Enchufe mediante bridas
Corriente nominal	6 Amp
Frecuencia de operación	60 Hz

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.6 Diseño eléctrico de las etapas que conformar el módulo didáctico.

Para el diseño eléctrico de cada etapa que conforma el proyecto se utilizó el software “Cadesimu”, el cual es un software libre muy ampliamente utilizado para realizar diagramas eléctricos y de automatización, además de tener una interfaz fácil de usar y nos brinda herramientas de simulación para los circuitos diseñados.

3.6.1 Etapa de banda transportadora

El circuito eléctrico de la etapa de la banda transportadora requiere de una alimentación de 110 VCA la cual pasa por un breaker termomagnético de protección, para de su salida ingresar a los pines F y N del PLC y a la fuente rectificadora de 110 VCA a 24VDC, en el puerto COM de las entradas del PLC se conecta el negativo proveniente de la salida de la fuente rectificadora, las entradas del PLC se conectan según la Tabla 3-14: a la entrada del pulsador de PARO, INICIO y STOP se conecta 24 VCD proveniente de la fuente y sus salidas se conectan a las entradas del PLC. Los sensores inductivos de tres hilos que detectan la carrocería se conectan al cable café 24VCD de la fuente y al cable azul 0V y del cable negro de salida se conectan a las entradas del PLC según la Tabla 3-15: Las salidas del PLC son alimentadas en los pines COM con 24 VDC provenientes de la fuente rectificadora y las salidas se conectan al generador PWM.

Tabla 3-14: Conexiones en PLC Wecon LX5S para etapa de la Banda Transportadora

ENTRADAS PLC		SALIDAS PLC	
L, N	110 VCA	COM 0	ENA generador PWM
S/S	0 VCD	Y0	EN+ Driver TB6600
X0	Paro		
X1	Inicio		
X2	Emergencia		
X3	Selector		
X4	Sensor inductivo 1		
X5	Sensor inductivo 2		
X6	Sensor inductivo 3		
X7	Sensor inductivo 4		

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

El generador de modulación por ancho de pulso (PWM) se establece como una conexión entre el driver TB6600 y otros componentes, siguiendo las especificaciones indicadas en la Ilustración 3-

42: Para garantizar un funcionamiento óptimo, la salida del driver TB6600 se conecta al motor utilizando los pines A+, A-, B+ y B-, según los datos presentados en la Tabla 3-15:

Tabla 3-15: Conexión Generador de Pulsos y Driver TB6600 para la etapa de la Banda Transportadora.

Generador PWM		Driver TB6600	
PUL	PUL+ (TB6600)	PUL+	PUL (Generador PWM)
DIR	DIR+ (TB6600)	DIR+	DIR (Generador PWM)
ENA	COM0 (PLC)	EN+	Y0 (PLC)
GND	EN- (TB6600)	EN-	GND (Generador PWM)
V+, V-	24 VDC	DIR-	GND (Generador PWM)
		PUL-	GND (Generador PWM)
		A+, A-	Bobina 1 motor nema 23
		B+, B-	Bobina 2 motor nema 23
		V+, V-	24 VDC

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

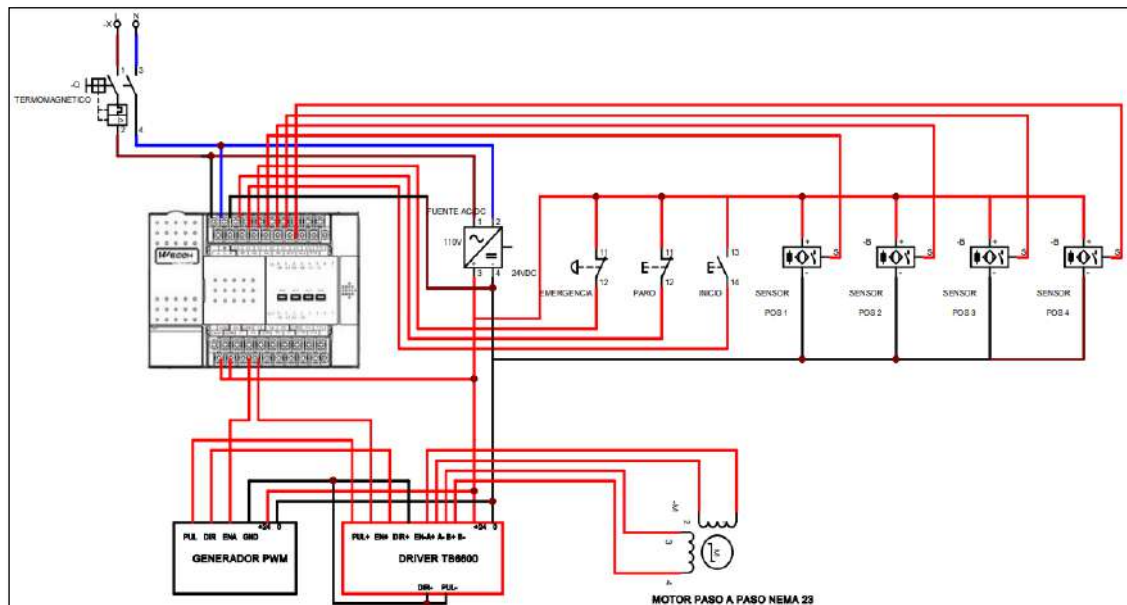


Ilustración 3-42: Circuito de conexiones de etapa de banda transportadora.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.6.2 Etapa de fosfatado y lavado

El circuito eléctrico de la etapa de fosfatado y lavado requiere de una alimentación de 110 VCA la cual pasa por un breaker termomagnético de protección, para de su salida ingresar a los pines

F y N del PLC y a la fuente rectificadora de 110 VCA a 24VDC, en el puerto COM de las entradas del PLC se conecta el negativo proveniente de la salida de la fuente rectificadora, las entradas del PLC se conectan según la Tabla 3-16: a la entrada del pulsador de PARO, INICIO y STOP se conecta 24 VCD proveniente de la fuente y sus salidas se conectan a las entradas del PLC. Los sensores capacitivos de dos hilos se conectan al cable café la alimentación de 24 VDC de la fuente rectificadora y si salida de cable negro se conectan a la entrada del PLC según la Tabla 3-17: al igual que sus salidas hacia el generador de señal PWM y las electroválvulas tanto del cilindro de doble vástago como para la pinza neumática.

Tabla 3-16: Tabla de conexión PLC Wecon LX5S para la etapa de fosfatado y lavado.

Entradas del PLC		Salidas del PLC	
L, N	110 VCA	COM 1	ENA (Generador PWM)
S/S	0 VCD	Y1	DIR- (Generador PWM)
X0	Paro	COM 2	+24 VCD
X1	Inicio	Y2	EN- (Driver TB6600)
X2	Emergencia	Y3	Electroválvula 1 (cilindro)
X3	Selector	COM 3	24 VCD
X10	Sensor magnético 1	Y4	Electroválvula 2 (pinza)
X11	Sensor magnético 2		
X12	Sensor magnético 3		
X13	Sensor magnético 4		
X14	Sensor magnético 5		

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

El generador PWM se conecta al driver TB6600 según la Ilustración 3-43: y en la salida del driver TB6600 se conecta al motor en los pines A+, A-, B+ y B-.

Tabla 3-17: Tabla de conexión Generador de Pulsos y Driver TB6600 para la etapa de la fosfatado y lavado.

Generador PWM		Driver TB6600	
PUL	PUL- (TB6600)	PUL-	PUL (Generador PWM)
DIR	DIR- (TB6600)	DIR-	DIR (Generador PWM)
ENA	COM1 (PLC)	EN-	Y2 (PLC)
COM	EN+ (TB6600)	EN+	COM (Generador PWM)
V+, V-	24 VDC	DIR-	COM (Generador PWM)
DIR-	Y1 (PLC)	PUL-	COM (Generador PWM)

Generador PWM		Driver TB6600	
		A+, A-	Bobina 1 motor lineal paso a paso
		B+, B-	Bobina 2 motor lineal paso a paso
		V+, V-	24 VCD

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

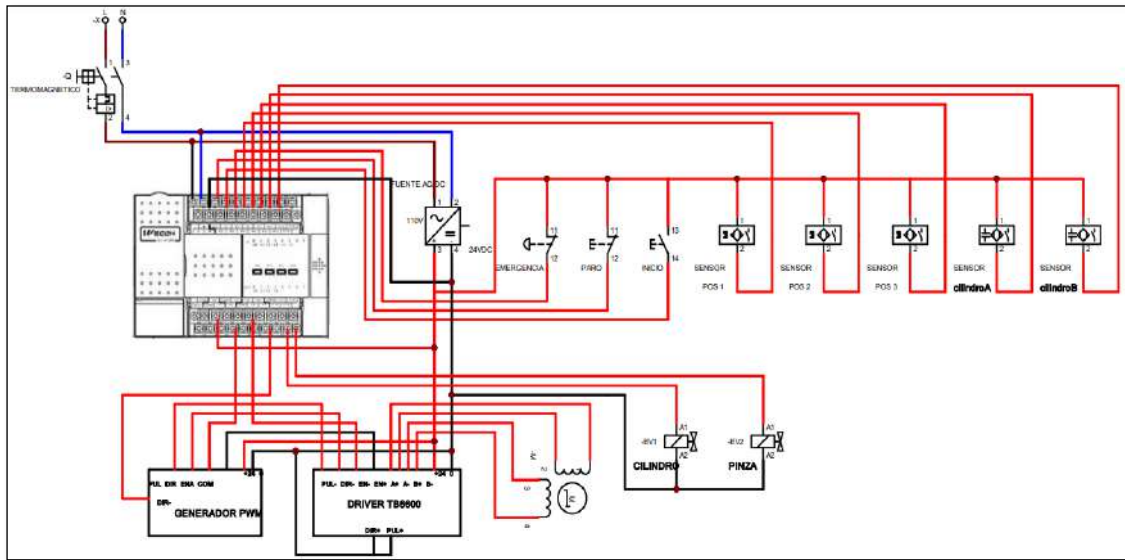


Ilustración 3-43: Circuito de conexiones de etapa de fosfatado y lavado.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.6.3 Etapa de pintado

El circuito eléctrico de la etapa de fosfatado y lavado requiere de una alimentación de 110 VCA la cual pasa por un breaker termomagnético de protección, para de su salida ingresar a los pines F y N del PLC y a la fuente rectificadora de 110 VCA a 24VDC, en el puerto COM de las entradas del PLC se conecta el negativo proveniente de la salida de la fuente rectificadora, las entradas del PLC se conectan según la Tabla 3-18: a la entrada del pulsador de PARO, INICIO y STOP se conecta 24 VCD proveniente de la fuente y sus salidas se conectan a las entradas del PLC. Las salidas del PLC para la etapa activan los giros del motor en sentido horario y antihorario para realizar el pintado y activarán una electroválvula con el aerógrafo, estas salidas estarán conectadas como se muestra en la Ilustración 3-44: el giro del motor con acople lineal se activará desde dos relés, donde las salidas del PLC se conectan a las bobinas de los relés y activarán o desactivarán los contactos NO (normalmente abierto) para determinar el giro del motor. El motor alimenta a 12 VCD, por lo que se usa un circuito reductor de voltaje para su funcionamiento que se conecta

a la salida de la fuente de 24 VCD y la salida de este voltaje fluirá mediante los contactos de los relés.

Tabla 3-18: Tabla de conexión PLC Wecon LX5S para la etapa de Pintura.

Estradas del PLC		Salidas del PLC	
L, N	110 VCA	COM3	+24 VCD
S/S	0 VCD	Y5	Electroválvula 3 (Aerógrafo)
X0	Paro	Y6	Relé Giro Horario
X1	Inicio	Y7	Relé Giro Antihorario
X2	Emergencia		
X3	Selector		
X6	Sensor inductivo 3		

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

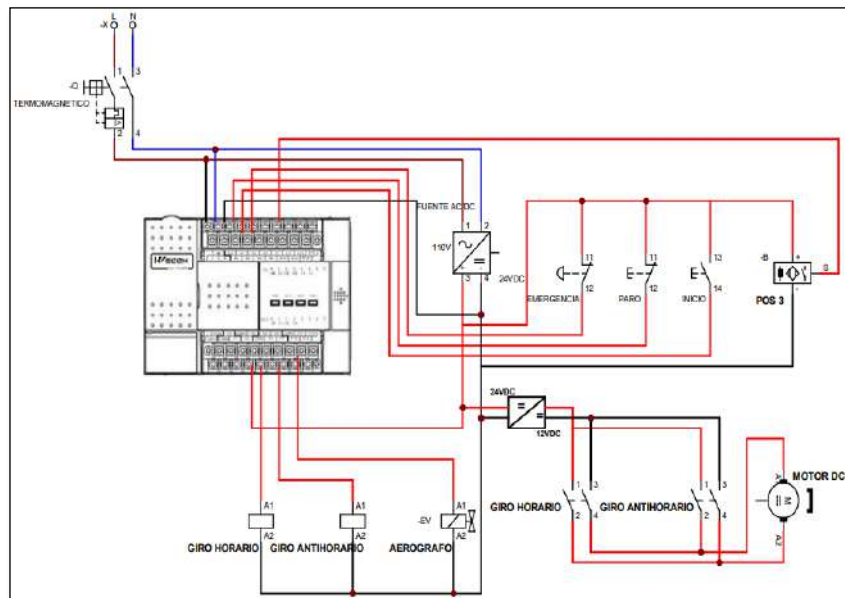


Ilustración 3-44: Circuito de conexiones de etapa de pintura.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.6.4 Etapa de secado

El circuito eléctrico de la etapa de secado requiere de una alimentación de 110 VCA la cual pasa por un breaker termo magnético de protección he ingresa a la fuente de rectificadora (Ilustración 3-45:). El elemento de control de esta etapa es el controlador de temperatura ITC-100VL, alimentado con 24 VDC en los pines 9 y 10, conecta la termocupla tipo J en los pines 3 y 4 en el pin 3 se debe conectar el cable positivo del sensor, en el pin 8 se conecta al COM 7 del PLC y de la salida Y14 conectar al A1 de la bobina del SSR, revisará Tabla 3-19::

Tabla 3-19: Tabla de conexión controlador ITC-100VL de etapa de Secado.

PIN del controlador	Conexión
PIN 3	Polo negativo termocupla
PIN 4	Polo positivo termocupla
PIN 9	+24 VCD
PIN 10	0 VCD
PIN 12	+24 VCD
PIN 8	COM 7 (PLC)
PIN 6	PIN A2 SSR

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

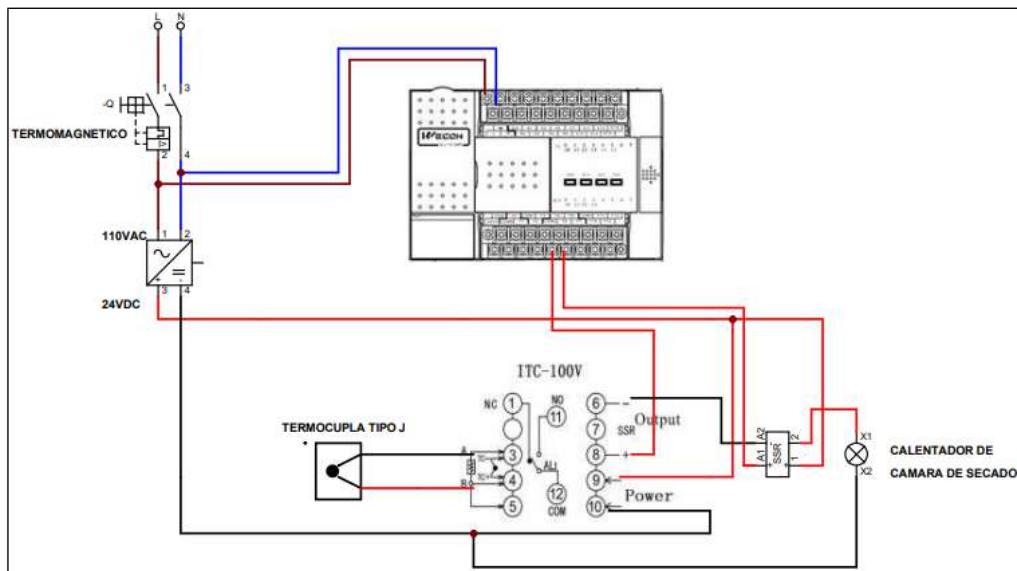


Ilustración 3-45: Circuito de conexiones de etapa de secado

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.7 Estructura de programación y configuración del módulo didáctico.

Para la representación de la programación se utilizó un diagrama GRAFSET con cada paso del proceso y las condiciones para que se den estos pasos o secuencias, véase la Ilustración 3-46:

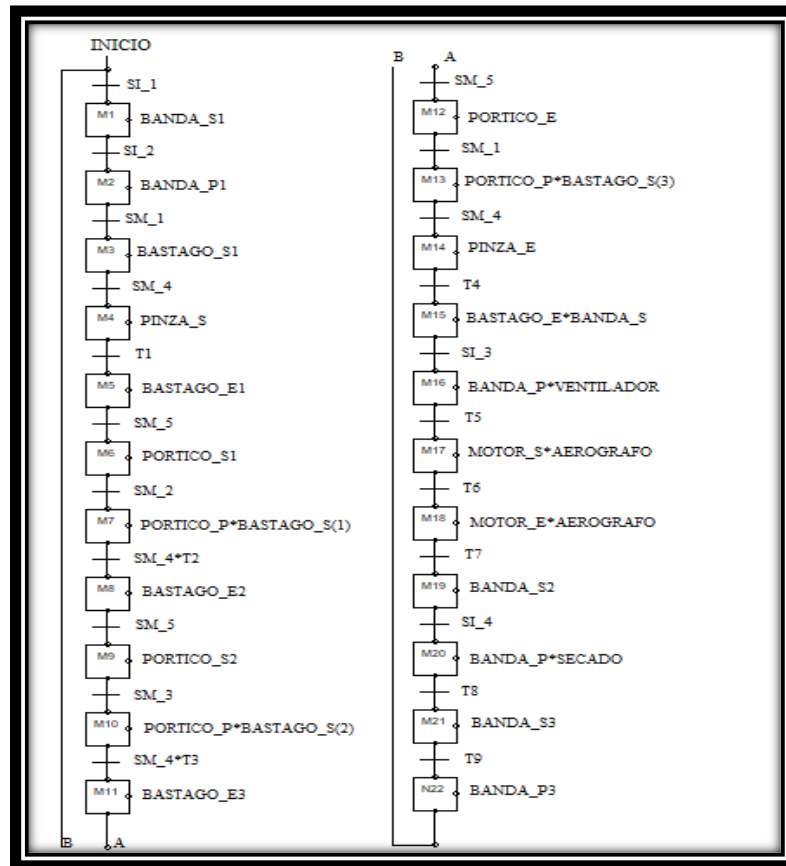


Ilustración 3-46: Grafset del proceso de Fosfatado, Lavado y Pintura de carrocerías

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

La programación del controlador lógico programable (PLC) se realizó en el programa Wecon PLC Editor versión V2.1.203 utilizando el lenguaje de programación Ladder o de contactos ya que este es un lenguaje de programación muy usada en la programación de PLCs.

El lenguaje de programación Ladder se basa en el diagrama de escalera eléctrica, utilizado originalmente en la industria de la electrónica y la electricidad. El objetivo del lenguaje Ladder es permitir a los programadores diseñar y controlar secuencias lógicas utilizando una interfaz gráfica que se asemeja a un diagrama de conexiones eléctricas.

La disposición de las entradas, salidas y memorias del proceso en modo automático se representan en la Tabla 3-20:.

Tabla 3-20: Disposición de entradas, memorias y salidas del proceso.

Entradas		Salidas		Memorias	
X0	PARO	Y0	BANDA	M0	INICIO
X1	INICIO	Y1	PORTICO ENTRA	M1	BANDA_S1
X2	SELECT. MANUAL	Y2	PORTICO SALE	M2	BANDA_P1
X3	STOP	Y3	ELECTROVALVU LA1	M3	BASTAGO_S1
X4	SI_1	Y4	ELECTROVALVU LA2	M4	PINZA_S
X5	SI_2	Y5	AEROGRAFO	M5	BASTAGO_E1
X6	SI_3	Y6	GIRO HORARIO	M6	PORTICO_S1
X7	SI_4	Y7	GIRO ANTIHORARIO	M7	PORTICO_P*BASTAGO_S (1)
X10	SC_1	Y10	LED VERDE	M8	BASTAGO_E2
X11	SC_2	Y11	LED ROJO	M9	PORTICO_S2
X12	SC_3	Y14	CALENTADOR	M10	PORTICO_P*BASTAGO_S (2)
X13	SC_4			M11	BASTAGO_E3
X14	SC_5			M12	PORTICO_S3
X15	SELECT. AUTO			M13	PORTICO_P*BASTAGO_S (3)
				M14	PINZA_E
				M15	BASTAGO_E*BANDA:S
				M16	BANDA_P*VENTILADOR
				M17	MOTOR_S*AEROGRAFO
				M18	MOTOR_E
				M19	BANDA_S2
				M20	BANDA_P2
				M21	BANDA_S3
				M22	BANDA_P3
				M50	PARO_HMI
				M51	INICIO_HMI

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.7.1 Programación del PLC en Wecon PLC Editor2

Una vez conocido el proceso a llevar a cabo y cada uno de los componentes y su respectiva conexión es posible seguir con la etapa de programación, y la herramienta software a utilizarse es el programa Wecon PLC Editor2 que es un software de descarga libre que lo podemos encontrar en la paginas oficial de la marca WECON.

El entorno de programación del programa Wecon PLC Editor2 es una interfaz que permite programar y configurar los PLCs de Wecon. La interfaz del software es intuitiva y fácil de usar, lo que permite configurar los sistemas de control de manera eficiente y eficaz. Además, el programa Wecon PLC Editor2 ofrece una variedad de herramientas de diagnóstico y depuración, lo que facilita la identificación y resolución de problemas.

3.7.2 Selección del PLC

Una vez abierto el programa se debe seleccionar el modelo del PLC que se va a utilizar como se indica en la Ilustración 3-47: para ello abrimos la pestaña PLC type change y escogemos el modelo que se tenga a disposición y el lenguaje de programación que se va a utilizar durante el proceso de automatizar.

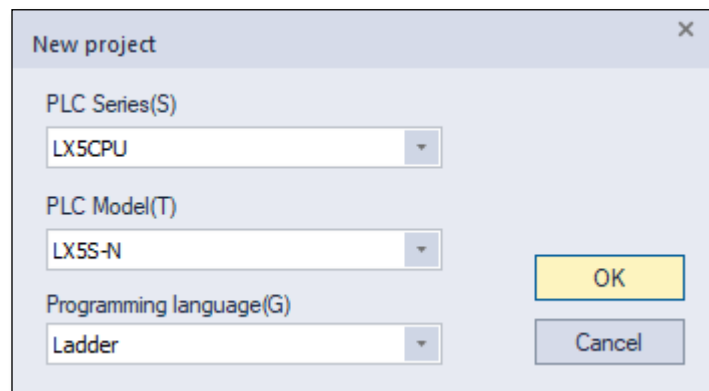


Ilustración 3-47: Selección del modelo del PLC en Wecon PLC Editor2.

Fuente: (WECON)

3.7.3 Introducción a la programación en Wecon PLC Editor2

Para la programación del PLC se requiere conocer los diferentes objetos y comandos básicos que contiene y cuál es la descripción de las mismas como se presentan en la Tabla 3-21:

Tabla 3-21: Descripción de comandos principales del PLC LX5S.

Número	Comando	Descripción
1	X – Input	Representación de entrada física al PLC
2	Y – Output	Representación de salida física al PLC
3	M – Intermédiate	Registro intermedio común Registro especial de sistema
4	S – State	Indicados de estados internos de PLC para control de pasos
5	T – Timer	Temporizador de 16 bits (1, 10, 100 ms)
6	C – Caunter	Contados ascendente/descendente de 16 y 32 bits Contador de alta velocidad
7	D – Data register	Registro de datos Registro de cadena Dirección o direccionamiento directo
8	P, I – Pointer	Puntero de salto Puntero de subprograma Puntero de interrupción (alta velocidad)
9	K, H - Constant	Binario, decimal, hexadecimal, punto flotante etc.

Fuente: (WECON)

El lado izquierdo de la pantalla principal es [Administrador de proyectos]. Muestra todo el proyecto por árbol. El proyecto incluye organización, estructura, nombre del proyecto, programa, comentario del dispositivo, parámetro, memoria del dispositivo, función extendida, todo tipo de tabla de instrucciones etcétera como se indica en la Ilustración 3-48: Los usuarios pueden controlar todo el proyecto mediante [Administrador de proyectos].

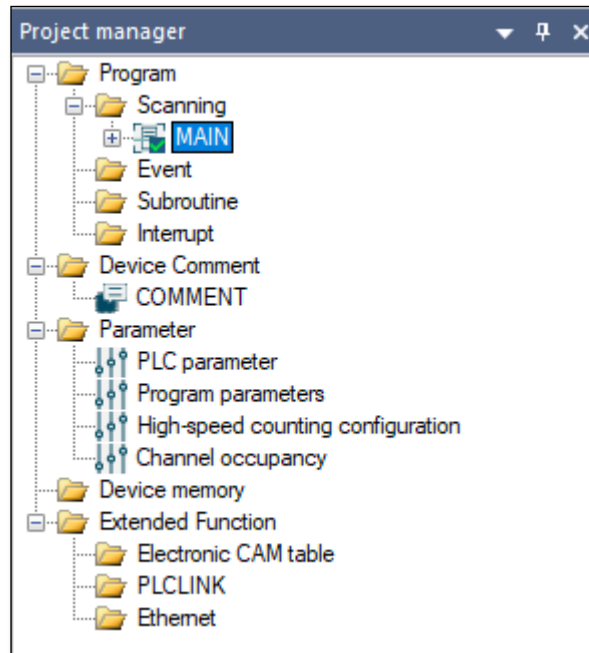


Ilustración 3-48: Administrador del proyecto en el entorno de Wecon PLC Editor2

Fuente. (WECON)

Los principales símbolos Ladder de las funciones básicas del programa los podemos encontrar en la barra de herramientas, así como los comandos de compilación de programa, modos del programa y ejecución del mismo (Ilustración 3-49:).

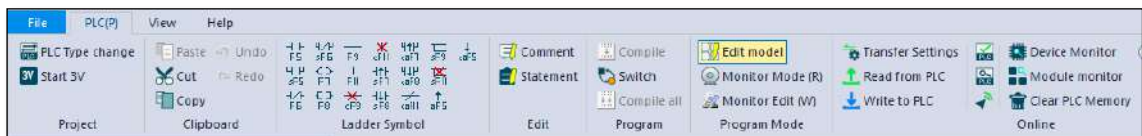


Ilustración 3-49: Barra de herramientas del software Wecon PLC Editor2

Fuente: (WECON)

3.7.4 Programación Ladder en el entorno de Wecon PLC Editor2

Al crear la aplicación, se deben asignar objetos usados como E/S o dirección de memoria, según las variables asociadas al proceso se crean los contactos de entrada, salida y memorias, para ello se debe usar representación simbólica en el programa y crear el diagrama de contactos; no es pertinente del trabajo de titulación la enseñanza del programa, pero si se explica cómo se programó en el software seleccionado, la Ilustración 3-50: muestra un diagrama simple para el arranque, paro y enclavamiento de una salida.

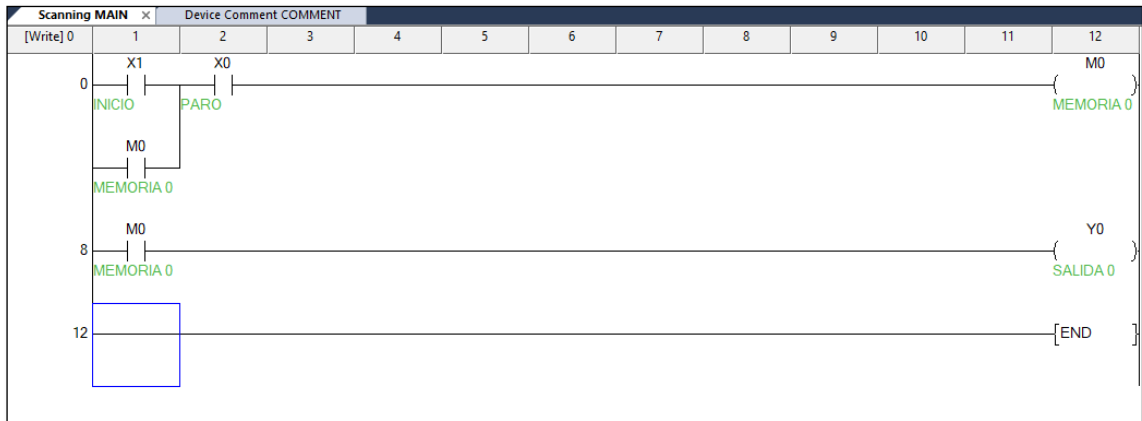


Ilustración 3-50: Ejemplo de programa LD en Wecon PLC Editor2

Realizado por: Aldaz Jimmy, Edison Remache, 2023

Es importante estructurar correctamente el programa y comentar (etiquetar) cada elemento del mismo para así tener un correcto control de las diferentes variables que intervienen en el funcionamiento del programa como se muestra en la Ilustración 3-51: para visualizar y tener mejor control de esta acción se puede abrir la pestaña device comment y visualizar así todas las variables del programa.

Device name	Device Comment	Device alias
Y0	BANDA	
Y1	PORTICO SALE	
Y2	PORTICO ENTRA	
Y3	ELECTROVALVULA1	
Y4	ELECTROVALVULA2	
Y5	AEROGRAFO	
Y6	GIRO HORARIO	
Y7	GIRO ANTIHORARIO	
Y10	LED VERDE	
Y11	LED ROJO	
Y12		
Y13		
Y14	CALENTADOR	
Y15		
Y16		

Name	Type	Digit	Ran
C	WORD	10	0 ~
D	WORD	10	0 ~
D. b	BIT	10	0.0 ~
HSC	DWORD	10	0 ~
LC	DWORD	10	0 ~
M	BIT	10	0 ~
P	WORD	10	0 ~
R	WORD	10	0 ~
S	BIT	10	0 ~
SD	WORD	10	0 ~
SM	BIT	10	0 ~
T	WORD	10	0 ~
V	WORD	10	0 ~
X	BIT	8	0 ~
Y	BIT	8	0 ~
Z	DWORD	10	0 ~

Ilustración 3-51: Ventana Device Comment del software Wecon PLC Editor2

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023

3.7.5 Dirección de comunicación en Wecon PLC Editor2

Una vez realizado de manera correcta el programa (Ilustración 3-52:) este debe ser compilado para detectar errores y así poder cargar el programa al PLC.

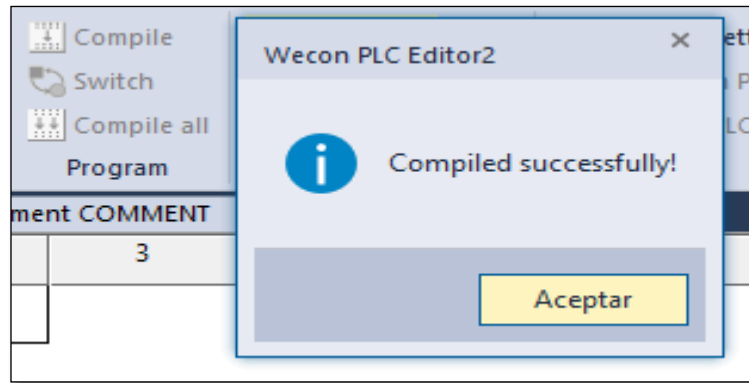


Ilustración 3-52: Ventana de compilación exitosa en el software Wecon PLC Editor2.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Si el programa es compilado y este no da ningún error se procede a realizar la comunicación con el PLC, para ello ingresamos a la opción Transfer Settings, dentro de esta opción escogemos la opción de comunicación que estemos utilizando que para este caso es mediante comunicación ethernet y en ella seleccionamos la tarjeta de red de nuestro computador y buscamos el PLC, una vez encontrado su dirección IP se digitara en el apartado dirección IP, véase en la Ilustración 3-53:.

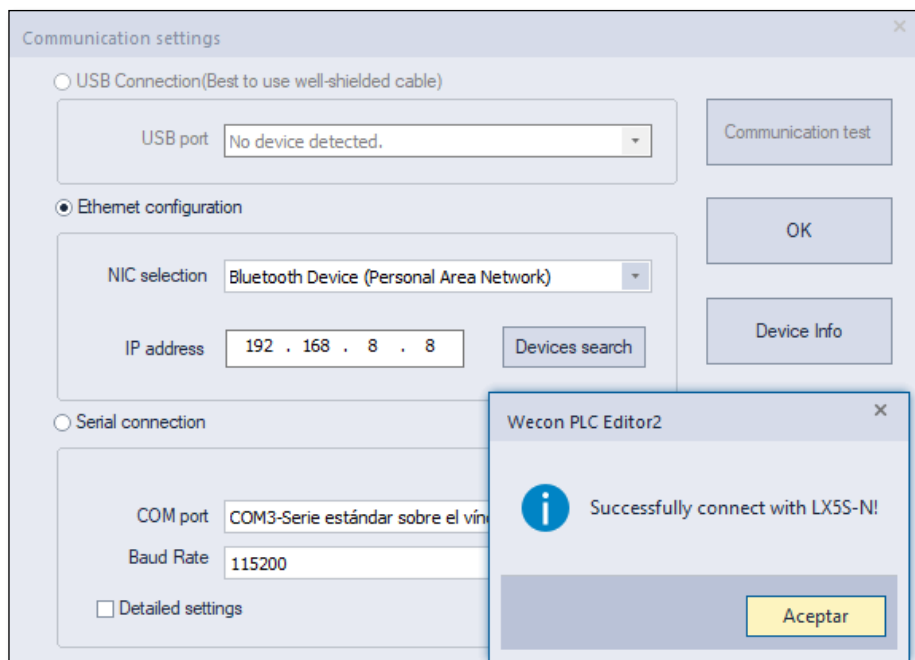


Ilustración 3-53: Configuración de comunicación del software Wecon PLC Editor2.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Tras terminar el programa y establecer la comunicación se cargará el programa al PLC (Ilustración 3-54:).

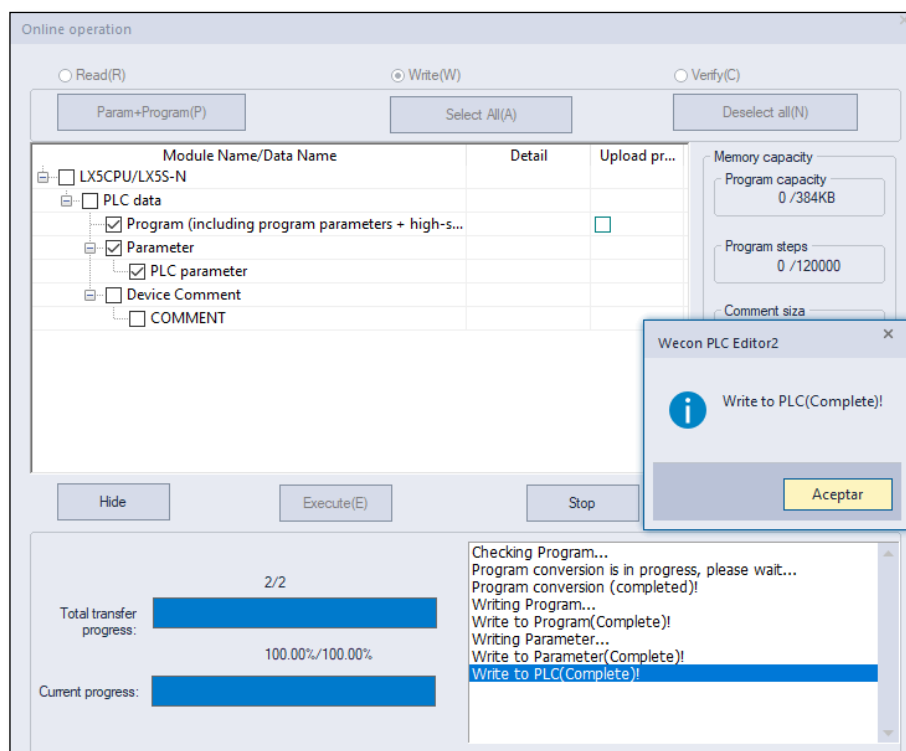


Ilustración 3-54: Cargar el programa al PLC en Wecon PLC Editor2.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.7.6 *Diseño de HMI/SCADA en PISudio*

El PISudio es una interfaz que permite a los usuarios programar y configurar sistemas de control y adquisición de datos mediante el software PISudio. El software se utiliza para programar la lógica de control de los sistemas de adquisición de datos, definir las entradas y salidas, configurar las comunicaciones y ver datos en tiempo real. La interfaz del software es intuitiva y fácil de usar, lo que permite configurar los sistemas de manera eficiente y eficaz. Además, PISudio ofrece una variedad de herramientas de diagnóstico y depuración, lo que facilita la identificación y resolución de problemas en los sistemas de control y adquisición de datos. El HMI creado y utilizado para la visualización del proceso tanto en su forma manual como automático para la obtención de datos se puede visualizar.

3.7.7 *Selección de la pantalla HMI y comunicación*

Una vez abierto el programa para el diseño del HMI, PISudio se debe crear un nuevo proyecto y en la cual ingresaremos el nombre del proyecto, la dirección donde se guardará, el HMI a utilizarse y el tipo de conexión para la comunicación del HMI (Ilustración 3-55:).

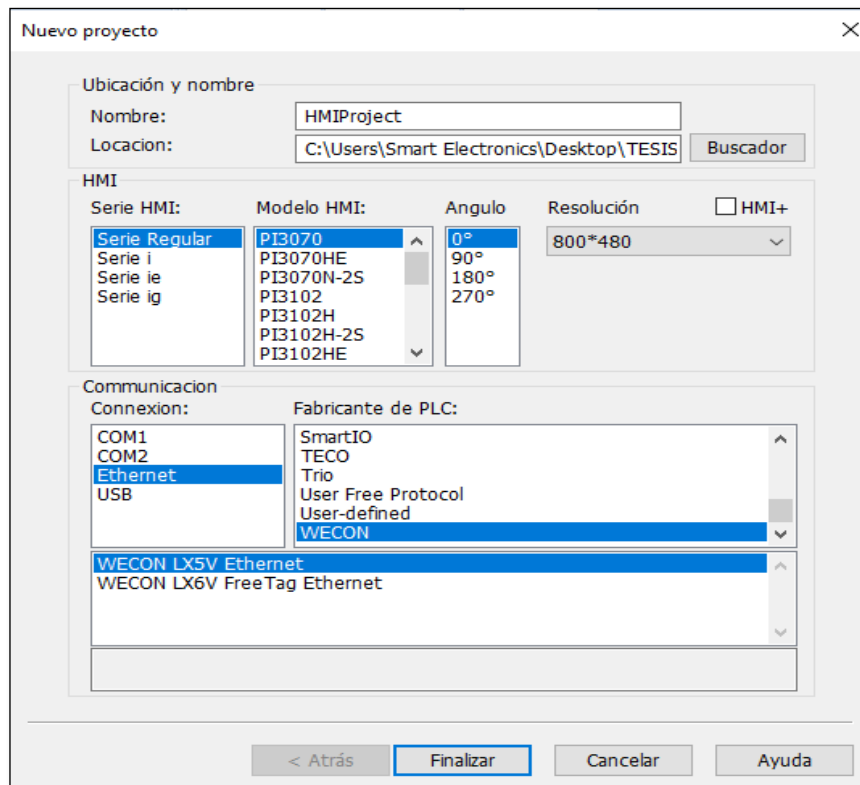


Ilustración 3-55: Selección del HMI y el tipo de comunicación a usarse en el software PISStudio.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023

3.7.8 *Introducción al entorno de diseño HMI/SCADA de PISStudio*

La barra de herramientas del software (Ilustración 3-56:) está situada en la parte superior donde encontraremos las principales funciones del programa que nos permitirán realizar las principales acciones dentro del programa.



Ilustración 3-56: Barra de herramientas del software PISStudio.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

En el lado derecho tenemos el administrador del proyecto donde tendremos todas las pantallas con las que cuenta el trabajo (Ilustración 3-57:).

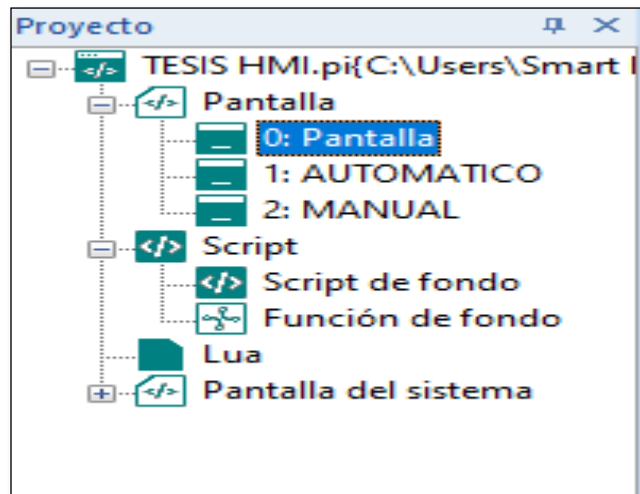


Ilustración 3-57: Administrador del proyecto del software PISstudio.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Del lado izquierdo tenemos todos los objetos de diseño con los que cuenta el software y que nos permitirán realizar y crear el HMI/SCADA, estos objetos serán los que insertaremos en el área de trabajo y darán forma al diseño (Ilustración 3-58:).



Ilustración 3-58: Barra de objetos del software PISstudio.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

La principal configuración que se debe tomar en cuenta para el diseño del HMI/SCADA en el software PISstudio es la forma del objeto ingresado donde para ello el software cuenta con una

gran variedad de opciones y el direccionamiento del objeto que deberá ser realizado en función a las variables contenidas en la programación del PLC (Ilustración 3-59:).

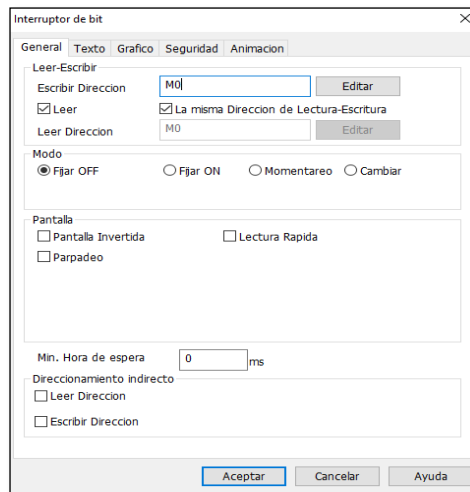


Ilustración 3-59: Direccionamiento de objetos en el software PISudio.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.7.9 Direccionamiento de comunicación en PISudio

Una vez diseñado el HMI/SCADA se debe configurar la comunicación por la cual se enlazará el HMI al PLC para ellos vamos a la opción de comunicación y dentro de esta opción escogemos el puerto de comunicación que vayamos a utilizar, y el dispositivo con el que vayamos a comunicarnos, una vez hecho esto digitaremos la dirección IP del dispositivo y de esta manera se establecerá la comunicación (Ilustración 3-60:).

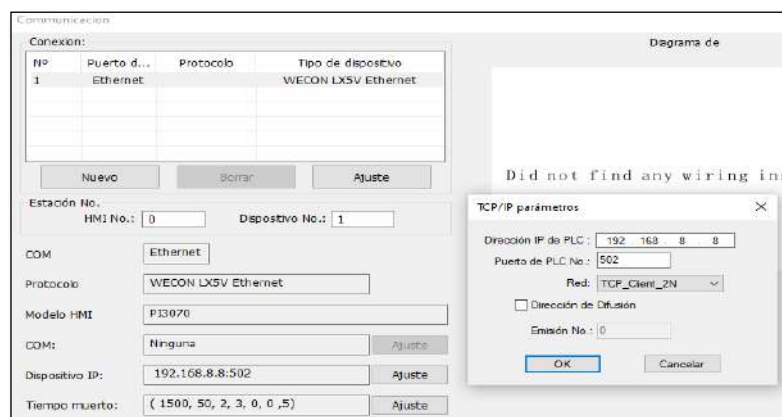


Ilustración 3-60: Configuración de la comunicación entra el PLC y el HMI en el software PISudio.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

3.7.10 Diseño del HMI/SCADA

El módulo tiene un funcionamiento Manual y uno Automático que se seleccionará con un selector del cuadro de control, el sistema HMI/SCADA cuenta igual que una pantalla para cada funcionamiento mencionado. El diseño se realizó de una pantalla principal o pantalla Home, según se muestra en la Ilustración 3-61:.

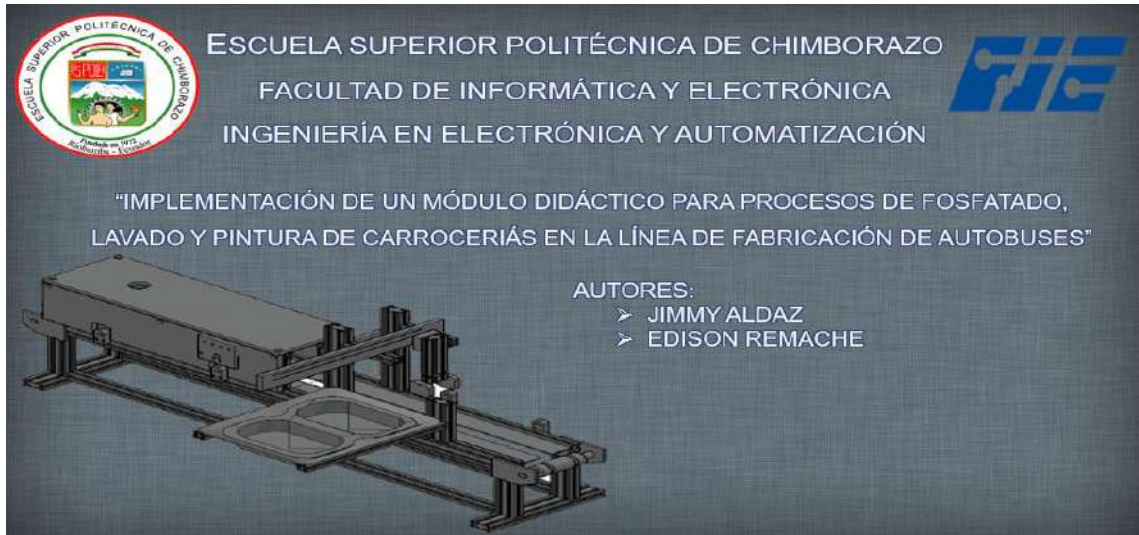


Ilustración 3-61: Pantalla Home de HMI/SCADA.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023

La pantalla de funcionamiento automático contiene cada uno de los sensores y actuadores presentes a lo largo de todo el módulo representados mediante indicadores los cuales se activarán en correspondientemente al funcionamiento del módulo como puede verse en la Ilustración 3-62:.

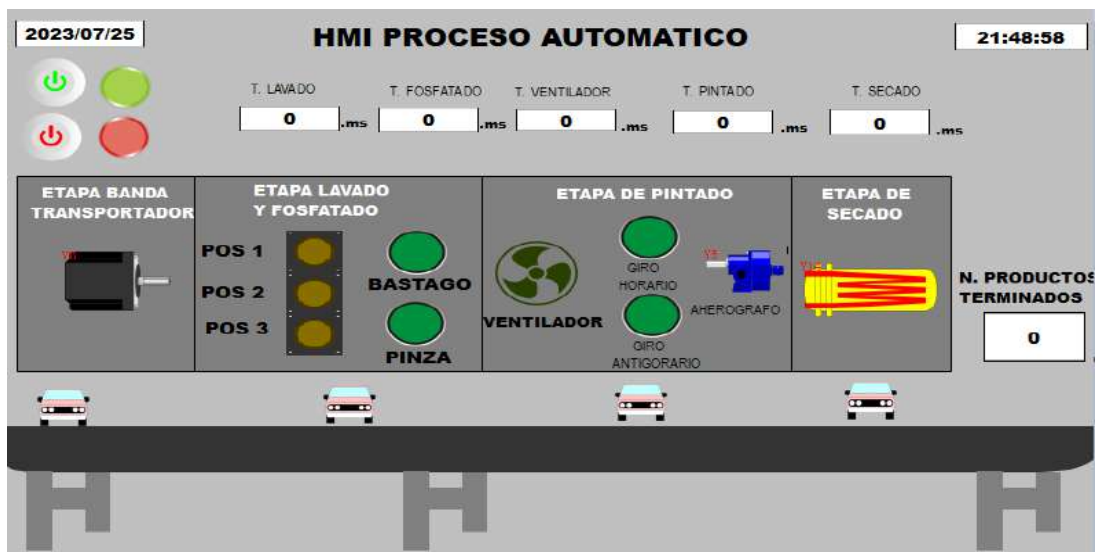


Ilustración 3-62: Pantalla de funcionamiento automático del módulo

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023

La pantalla de funcionamiento automático contiene indicadores de cada actuador con los que cuenta el módulo, así como botones de accionamiento de cada uno de estos como se muestra en la Ilustración 3-63:, que permiten realizar el control de los accionamientos de forma manual únicamente desde el HMI.



Ilustración 3-63: Pantalla de funcionamiento manual del módulo.

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023

El sistema SCADA diseñado para el módulo didáctico implementado nos permite una mejor visualización del proceso en cada una de sus etapas, así como un control de inicio y paro, de igual manera este nos permite visualizar los tiempos de ejecución de las etapas, así como un conteo de los productos terminados del proceso presentado.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos de las pruebas llevadas a cabo en el contexto del proyecto. Estas pruebas se enfocaron en validar la funcionalidad del módulo didáctico mediante la evaluación de los tiempos de funcionamiento de cada etapa del proceso, la cobertura de la carrocería durante la etapa de fosfatado y lavado, y la distribución de temperatura en las diferentes áreas de la carrocería durante la etapa de secado.

En primer lugar, se evaluaron los tiempos de funcionalidad de cada etapa del proceso para determinar la eficiencia del módulo didáctico en la ejecución de las tareas. Se registraron y analizaron los tiempos requeridos en cada etapa, identificando posibles áreas de mejora y optimización del proceso.

En la etapa de fosfatado y lavado, se verificó el recubrimiento parcial de la carrocería, asegurando que todas las partes del vehículo recibieran un tratamiento adecuado. Se realizaron mediciones y observaciones visuales para confirmar la uniformidad y calidad del recubrimiento.

Durante la etapa de secado, se evaluó la temperatura presente en el área de la carrocería. Se realizaron mediciones precisas, comparando los valores registrados en el controlador con el termómetro digital y se registraron los valores de temperatura adecuados para llevar a cabo la operación de secado.

Los resultados de las pruebas realizadas aportaron información valiosa sobre la funcionalidad del módulo didáctico, la calidad del recubrimiento de la carrocería y una visión detallada de la distribución térmica en la superficie. Estos resultados contribuirán a la toma de decisiones informadas y a posibles mejoras en el proceso y la implementación del proyecto.

4.1 Prueba t de Student

La prueba t de Student, también conocida como prueba t-Student, es un tipo de prueba estadística utilizada para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos (Ortega, 2023) (Jornet, 2014). La prueba t se basa en el cálculo de un valor t, que representa la diferencia entre las medias de los dos grupos dividida por una estimación del error estándar (Ortega, 2023) (Jornet, 2014). Este valor t se compara con una distribución t de Student para determinar la significancia estadística de la diferencia observada. En resumen, la prueba t de Student permite evaluar si la diferencia entre las medias de dos grupos es probablemente debido a la variabilidad aleatoria o si

hay evidencia suficiente para considerar que la diferencia es estadísticamente significativa (Ortega, 2023) (Jornet, 2014).

Para el caso de análisis de datos se ha optado por realizar la prueba t de student para una única muestra, por lo cual el procedimiento general para realizarla es el siguiente:

1. Establecer las hipótesis:
 - Hipótesis nula (H_0): La media de la muestra es igual al valor teórico o de referencia.
 - Hipótesis alternativa (H_1): La media de la muestra es diferente al valor teórico o de referencia.
2. Calcular la prueba t:
 - Calcule la media (promedio) de la muestra.
 - Calcule la desviación estándar de la muestra.
 - Calcule el tamaño de la muestra (n).
 - Calcule el valor de t dividiendo la diferencia entre la media de la muestra y el valor teórico entre la desviación estándar de la muestra dividida por la raíz cuadrada de n .
3. Determinar el valor crítico y el nivel de significancia:
 - Determine el valor crítico de t para un nivel de significancia específico y los grados de libertad ($n-1$).
 - El nivel de significancia (alfa) es el umbral predefinido que determina cuándo se rechaza la hipótesis nula.
4. Comparar el valor de t con el valor crítico:
 - Si el valor de t calculado está fuera de la región de rechazo definida por el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que la media de la muestra es significativamente diferente del valor teórico o de referencia.
 - Si el valor de t calculado está dentro de la región de no rechazo definida por el valor crítico, no se puede rechazar la hipótesis nula y no se concluye que haya una diferencia significativa distribución normal.

4.2 Pruebas de funcionalidad de los principales sensores presentes en cada etapa del proceso.

4.2.1 Calibración sensores inductivos.

Tabla 4-1: Calibración del sensor inductivo de acuerdo a las distancias permitidas.

Número de prueba	Distancia en milímetros				
	5 mm	4 mm	3 mm	2 mm	1 mm
1	0	0	1	1	1
2	0	0	1	1	1
3	0	0	0	1	1
4	0	0	1	1	1
5	0	0	1	1	1
6	0	0	1	1	1
7	0	0	0	1	1
8	0	0	1	1	1
9	0	0	1	1	1
10	0	0	1	1	1
11	0	0	0	1	1
12	0	0	1	1	1
13	0	0	0	1	1
14	0	0	1	1	1
15	0	0	1	1	1
16	0	0	0	1	1
17	0	0	1	1	1
18	0	0	1	1	1
19	0	0	0	1	1
20	0	0	1	1	1
Aceptabilidad	0%	0%	30%	100%	100%
Distancia hoja de Técnica	4mm			0%	

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

En relación a las 20 pruebas efectuadas expuestas en la Tabla 4-1:, los espesores de 4 mm y 5 mm, se observa una aceptabilidad del 0% sin detección del metal; para el espesor de 3 mm, se observa un error del 70% y una aceptabilidad del 30% y en el espesor de 2 mm y 1mm, se registra

una aceptabilidad del 100%, por ende, se considera que el sensor presenta una mayor eficiencia funcional a una distancia de 2 mm y 1mm, considerando los resultados la instalación se realiza a 2 mm.

4.2.2 Sensor magnético etapa de fosfatado y lavado.

Tabla 4-2: Calibración del sensor magnético.

Número de prueba	5 mm	4 mm	3 mm	2 mm	1 mm
1	0	1	1	1	1
2	0	0	1	1	1
3	0	1	1	1	1
4	0	1	1	1	1
5	0	0	1	1	1
6	0	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1
8	0	0	1	1	1
9	0	1	1	1	1
10	0	0	1	1	1
11	0	1	1	1	1
12	0	0	1	1	1
13	0	1	1	1	1
14	0	1	1	1	1
15	0	0	1	1	1
16	0	1	1	1	1
17	0	0	1	1	1
18	0	1	1	1	1
19	0	1	1	1	1
20	0	0	1	1	1
Aceptabilidad	0%	40%	100%	100%	100%
Distancia hoja Técnica	4mm			40%	

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Según los resultados de las pruebas realizadas y los datos presentes en la Tabla 4-2:, se puede determinar: los 5 mm y 4 mm no son distancias adecuadas para detectar el campo magnético del actuador ya que los 5 mm muestran un 0% de aceptabilidad, y los 4 mm presentan una fiabilidad del 90%, Las distancias de 3 mm, 2 mm y 1 mm no presentan errores en la detección, por lo que

se consideran las distancias más adecuadas. Según los resultados, los 2 mm son la más aceptable para la ubicación del sensor magnético.

4.2.3 Sensor magnético del vástago en la posición A0.

Tabla 4-3: Calibración del sensor magnético del actuador en la posición A0

Número de prueba	2 mm	1.5 mm	1 mm	0.5 mm	0.1 mm
1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	1
15	0	0	0	0	1
16	0	0	0	0	1
17	0	0	0	0	1
18	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	1
20	0	0	0	0	1
Aceptabilidad	0%	0%	0%	0%	100%

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Según los datos recopilados de las 20 pruebas de la Tabla 4-3:, la distancia de 0.1 mm satisface el propósito del sensor, que es detectar el campo magnético del vástago en su posición inicial, se determina que la colocación del sensor para que no presente errores se realiza a una distancia de 0.1 mm con respecto a la base del actuador.

4.2.4 Sensor magnético del vástago en la posición A1.

Tabla 4-4: Calibración del sensor magnético presente en el actuador en la posición A1.

Número de prueba	12 cm	11.5 cm	11 cm	10 cm	9.5 cm
1	0	0	0	1	0
2	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0
4	0	0	0	1	0
5	0	0	0	1	0
6	0	0	0	1	0
7	0	0	0	1	0
8	0	0	0	1	0
9	0	0	0	1	0
10	0	0	0	1	0
11	0	0	0	1	0
12	0	0	0	1	0
13	0	0	0	1	0
14	0	0	0	1	0
15	0	0	0	1	0
16	0	0	0	1	0
17	0	0	0	1	0
18	0	0	0	1	0
19	0	0	0	1	0
20	0	0	0	1	0
Aceptabilidad	0%	0%	0%	100%	0%

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

De acuerdo a los datos presentes en la Tabla 4-4:, se establece que la distancia de 10 cm satisface el propósito del sensor, que es detectar el campo magnético del vástago en su posición final, En consecuencia, se determina que la colocación del sensor para que no presente errores se realiza a una distancia de 10 cm con respecto a la base del punto inicial del actuador.

4.3 Regulación de las velocidades de los motores pasos a paso presentes en el proceso.

En esta sección, se pretende establecer una velocidad óptima que garantice tiempos aceptables y precisos en la ejecución de los procesos de fosfatado, lavado, pintado y secado de la carrocería.

En la industria, existe la necesidad de reducir el tiempo de ejecución del sistema mediante la implementación de una técnica de automatización en la línea de producción. El objetivo principal es lograr una eficiencia mejorada en los procesos mencionados, lo que resultará en una mayor productividad y rentabilidad para la empresa. Para lograrlo, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de los tiempos de cada etapa del proceso, considerando los parámetros técnicos y los requisitos de calidad. Esto permitirá determinar la velocidad adecuada de los equipos y sistemas involucrados, asegurando un rendimiento óptimo en la línea de producción y cumpliendo con los estándares de tiempo establecidos.

4.3.1 Calibración de la velocidad del motor paso a paso de la banda transportadora.

Tabla 4-5: Velocidad del motor con respecto a la variación de la frecuencia.

Número de prueba	Frecuencia (Hz)	Velocidad (cm/s)	Error	Descripción
1	5	1,58	0	-
2	10	3,08	0	-
3	15	4,75	0	-
4	20	7,17	0	-
5	25	8,93	0	-
6	30	10,71	0	-
7	35	12,35	0	-
8	40	14,41	0	-
9	45	16,34	0	-
10	50	17,87	0	-
11	55	19,76	0	-
12	60	21,88	0	-
13	65	22,76	0	-
14	70	23,20	0	-
15	75	24,00	0	-
16	80	24,49	0	-
17	85	26,25	0	-
18	90	29,27	0	-
19	95	30,22	0	-
20	100	32,94	0	-

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Basándonos en los valores registrados en la Tabla 4-5: y tomando en consideración la necesidad de una presión específica para la detención del motor en las diversas fases, podemos inferir que la frecuencia operativa del motor paso a paso que opera en la banda transportadora se sitúa alrededor de los 40 Hz con una velocidad de 14,41 cm/s en condiciones libres de cualquier tipo de fallo. Esta combinación de parámetros da como resultado un funcionamiento estable y eficiente de la banda transportadora en cuestión.

4.3.2 Calibración de la velocidad del motor paso a paso del actuador neumático, etapa de fosfatado y lavado.

Tabla 4-6: Velocidad del motor paso a paso con respecto a la variación de la frecuencia

Número de prueba	Frecuencia (Hz)	Velocidad cm/s	Error	Descripción
1	590	0,17	0	-
2	3590	0,17	0	-
3	6590	0,20	0	-
4	9590	0,65	0	-
5	12590	0,67	1	Límite de funcionamiento del motor, si es igual a mayor a la frecuencia establecida, se atasca el rodillo sin fin y se embala el motor.
Media	6590	0,20		

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

En el rango de frecuencia de 590 Hz a 9590 Hz, no se observaron errores en la funcionalidad del motor paso a paso. Sin embargo, al superar los 12590 Hz con una velocidad de 0.67 cm/s, se experimenta una condición de embalamiento del motor, lo que resulta en la falta de movimiento del tornillo sin fin. Por lo tanto, se determina que la frecuencia máxima a regular debe ser de 9590 Hz, con una velocidad de 0.65 cm/s, como el límite máximo para garantizar el tiempo requerido para la ejecución del proceso (Tabla 4-6:). Este análisis proporciona una referencia precisa para establecer los parámetros adecuados de frecuencia y velocidad del motor paso a paso. El rango de frecuencia y velocidad óptimas se ha determinado para asegurar el correcto funcionamiento del motor y evitar situaciones de embalamiento que podrían afectar negativamente el proceso.

4.4 Tamaño de muestra.

Como primer paso se calculó el número de muestras a tomar obteniendo una estimación de media poblacional con la siguiente formula.

$$n = \frac{(Z_{\alpha} * 2\sigma)^2}{E^2} \quad (2)$$

Donde:

n = tamaño de la muestra.

$(Z_{\alpha} * 2\sigma)^2$ = valor que pertenece a la distribución T-student, depende del nivel de confianza asignado y los grados de libertad. Se escogió esta distribución debida a que el tamaño de las muestras independientes.

2σ = Valor de la varianza de la muestra previa.

E^2 = error máximo esperado. Como primer paso, se obtiene de los tiempos haciendo uso de un cronometro de las etapas antes mencionadas.

4.4.1 Etapa de la banda transportadora

Tabla 4-7: Tiempo de ejecución de la etapa de la banda trasportadora.

Número de prueba	Tiempo (s)	Error	Descripción
1	9,77	0	-
2	9,68	0	-
3	9,73	0	-
4	9,83	0	-
5	9,76	0	-
6	10,01	0	-
7	10,05	0	-
8	10	0	-
9	10,08	0	-
10	9,86	0	-
11	9,91	0	-
12	10,02	0	-
13	9,86	0	-
14	9,91	0	-

Número de prueba	Tiempo (s)	Error	Descripción
15	9,96	0	-
16	9,89	0	-
17	10,03	0	-
18	10,03	0	-
19	9,92	0	-
20	9,99	0	-
Promedio	9,91		

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

En la etapa de la banda transportadora, se realizó una recopilación de datos exhaustiva, presentes en la Tabla 4-7:, considerando tanto los paros que ocurren en cada una de las etapas detectadas por el sensor inductivo como el tiempo de salida al finalizar la ejecución de la última etapa. Además, se tuvo en cuenta el tiempo necesario para que el objeto transportado complete todas las etapas y salga de la banda transportadora al finalizar el proceso. Los resultados obtenidos resaltan que el tiempo promedio que le toma a la carrocería en recorrer la longitud total de la banda considerando los paros de cada etapa es de 9,91 segundos lo que resulta crucial para evaluar el rendimiento general del sistema y determinar posibles áreas de mejora en términos de eficiencia y tiempos de producción.

4.2.2 Etapa de fosfatado y lavado.

Tabla 4-8: Tiempo de ejecución del proceso de fosfatado y lavado.

Número de prueba	Tiempo (s)	Error	Descripción
1	62,27	0	-
2	62,23	0	-
3	62,23	0	-
4	62,32	0	-
5	62,2	0	-
6	62,2	0	-
7	62,12	0	-
8	62,14	0	-
9	62,05	0	-
10	62,04	0	-
11	61,95	0	-
12	61,93	0	-

Número de prueba	Tiempo (s)	Error	Descripción
13	61,93	0	-
14	61,94	0	
15	62,07	0	-
16	62,12	0	-
17	62,07	0	-
18	62,03	0	-
19	62,21	0	-
20	61,99	0	-
Promedio	62,10		

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

La recopilación de datos presentes en la Tabla 4-8:, se llevó a cabo considerando los tiempos requeridos para la recepción de la carrocería, su transporte a cada estación para realizar las acciones de fosfatado y lavado por inmersión.

Durante este proceso, se registraron los tiempos necesarios para recoger cada carrocería y transferirla a las estaciones de fosfatado y lavado. Además, se monitorearon y registraron los tiempos de inmersión en los diferentes procesos. La recopilación de datos permitió obtener información valiosa sobre la eficiencia y el rendimiento del sistema de transporte y tratamiento. El tiempo promedio que le toma a la carrocería pasar por los diferentes puntos del proceso de la etapa mencionada es de 62,10s. Se identificaron posibles cuellos de botella en el proceso, así como oportunidades para mejorar la productividad y reducir los tiempos de ciclo. Estos datos recopilados son fundamentales para evaluar la eficacia de las operaciones de recolección, transporte y tratamiento de las carrocerías, y para tomar decisiones informadas sobre posibles ajustes y mejoras en el proceso.

4.2.3 Etapa de Pintado.

Tabla 4-9: Tiempo de ejecución del proceso de pintado de la carrocería.

Número de prueba	Tiempo (s)	Error	Descripción
1	18.95	0	-
2	19.93	0	-
3	19.02	0	-
4	19.03	0	-
5	18,95	0	-
6	19,93	0	-
7	19,02	0	-

Número de prueba	Tiempo (s)	Error	Descripción
8	19,03	0	-
9	19,04	0	-
10	18,99	0	-
11	19,05	0	-
12	19,04	0	-
13	19,05	0	-
14	18,98	0	-
15	19,06	0	-
16	18,95	0	-
17	18,96	0	-
18	18,96	0	-
19	19,04	0	-
20	18,96	0	-
Promedio	19,06		

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

En la etapa de pintado, se recopilaron datos presentados en la Tabla 4-9:, considerando el tiempo establecido para el secado de la carrocería tras culminar un proceso previo. Además, se registró el tiempo necesario para la simulación de pintado de la carrocería. En primer lugar, se consideró el tiempo necesario para permitir un adecuado pre secado de la carrocería después de la etapa anterior. Además, Se registraron los tiempos de ejecución en cada etapa para asegurar que se cumplieran los estándares de tiempo establecidos. Al totalizar los tiempos de cumplimiento del proceso se tiene un promedio de 19,06 segundos. Estos datos son fundamentales para evaluar la eficiencia y el rendimiento del proceso de pintado.

4.2.4 Etapa de secado.

Tabla 4-10: Tiempo de ejecución de la etapa de secado de la carrocería.

Número de prueba	Tiempo (s)	Error	Descripción
1	15,05	0	-
2	15,07	0	-
3	15,08	0	-
4	15,07	0	-
5	15,02	0	-
6	15,08	0	-
7	15,02	0	-

Número de prueba	Tiempo (s)	Error	Descripción
8	15,03	0	-
9	15,05	0	-
10	15,08	0	-
11	15,07	0	-
12	15,02	0	-
13	15,08	0	-
14	15,06	0	
15	15,02	0	-
16	15,08	0	-
17	15,08	0	-
18	15,09	0	-
19	15,06	0	-
20	15,02	0	-
Promedio	15,06		

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Para la recopilación de datos presentados en la tabla Tabla 4-10:, se tuvo en cuenta el tiempo requerido para el proceso de secado de la pintura aplicada en la carrocería. Se registraron y analizaron los tiempos necesarios para lograr un secado adecuado de la pintura en la carrocería. Estos tiempos se determinaron considerando diversos factores, como la temperatura en la superficie de la carrocería, lo que dio como resultado un tiempo promedio de 15.06 segundos en la simulación del secado de la carrocería. Esta información es fundamental para evaluar la eficiencia del proceso de secado de la pintura.

4.3 Prueba de Normalidad de datos.

La prueba Shapiro-Wilks se basa determinar si una muestra proviene de una distribución normal. Esta prueba plantea una hipótesis nula de que la distribución es normal y una hipótesis alternativa de que la distribución no es normal. El objetivo es rechazar la hipótesis nula a un nivel de significancia determinado (generalmente de 0,05) (Platas, 2021).

Tabla 4-11: Prueba Shapiro-Wilks

	Etapas de la banda transportadora.	Etapas de Fosfatado y Lavado	Etapas de Pintado	Etapas de Secado
W-stat	0,94	0,95	0,47	0,84
p-value	0,296840148	0,334616951	0,000000184	0,003267167
alpha	0,05	0,05	0,05	0,05
normal	si	si	no	no

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Según los resultados presentados en la Tabla 4-11:, se evidencia que los datos derivados de la etapa de la banda transportadora y la etapa de fosfatado y lavado exhiben características paramétricas o normalizadas, ya que cumplen con un valor de significancia igual o superior a 0,05. Por consiguiente, se procede a realizar la prueba t de Student para estos dos conjuntos de datos. En contraste, los datos correspondientes a la etapa de Pintado y la etapa de Secado se consideran no paramétricos o no normalizados, dado que el valor de P es inferior a 0,05. En consecuencia, se lleva a cabo la comparación de medianas para su análisis.

4.4 Prueba de wilcoxo.

Tabla 4-12: Resumen de contrastes de hipótesis.

	Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
1	La mediana de diferencias entre Etapas de Pintado y Etapas de Secado es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	0,000	Rechaza la hipótesis nula.
a. El nivel de significación es de ,050.				
b. Se muestra la significancia asintótica.				

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

El procedimiento de prueba de Wilcoxon se emplea con el propósito de evaluar la significancia estadística de la disparidad observada entre las mediciones (Juarez, 2019). Con base en los resultados presentados en la Tabla 4-12:, se concluye que la mediana de las diferencias entre la Etapa de Pintado y la Etapa de Secado es igual a 0. Este hallazgo indica que, durante la Etapa de Pintado, el tiempo de procesamiento de la carrocería es superior debido a los procesos de pre-secado y pintado en comparación con el tiempo consumido en la Etapa de Secado.

4.5 Prueba t student.

En el siguiente apartado tomando en consideración todos los datos obtenidos de las diferentes etapas que conforman el módulo didáctico, se procede a realizar el cálculo del tamaño de muestra requerido de dicha etapa. Con el resultado obtenido se pretende valorar la cantidad de muestras o pruebas que se deben realizar al módulo didáctico con la ejecución de todas las etapas, obteniendo como resultado el tiempo total que le toma a cada carrocería pasar por todas las fases con o sin presencia de errores. Lo que conlleva a la validación de funcionalidad de la simulación de los procesos de fosfatado, lavado y pintura de carrocerías en la línea de fabricación de autobuses.

Tabla 4-13: Prueba t student.

	Banda transportadora	Fosfatado y Lavado
Media	9,91	62,10
Varianza	0,01	0,01
Error	1	1
Confianza	0,05	3,79
Muestras	0,089	0,10
T	11,059	67

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Con base en los resultados de la Tabla 4-13:, hemos establecido la cantidad de pruebas a realizar en cada etapa del proceso.

Pintado: 0,10 Muestras.

Se ha establecido un criterio de error del 1% para los cálculos. La fórmula de cálculo para la media poblacional permite seleccionar un margen de error que oscila entre 0% y 5%. Es esencial recordar que a medida que disminuye el margen de error, el sistema se vuelve más preciso en sus estimaciones.

4.6 Proceso total.

El cálculo para determinar el tamaño de la muestra se ha llevado a cabo mediante un análisis estadístico exhaustivo. Se ha establecido una tasa de 0,10 pruebas por etapa de fosfatado y lavado, considerando un enfoque analítico para nuestro estudio específico. En este sentido, se ha decidido realizar un total de 1 prueba por cada una de las 20 carrocerías, tal como se detalla en la Tabla 4-14:.

Tabla 4-14: Prueba realizada para 20 carrocerías.

Pruebas Carrocerías	Prueba 1
	Tiempo (s)
1	110.89
2	110.92
3	110.86
4	110.96
5	110.77
6	110.83
7	110.94
8	110.82
9	110.87
10	110.79
11	110.78
12	110.76
13	110.76
14	110.78
15	110.72
16	110.86
17	110.80
18	110.72
19	110.82
20	110.78
Media	110,82

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

Mediante un análisis exhaustivo de todas las etapas presentes en el módulo didáctico, se ha constatado, a través de los datos recopilados, que existe una variación de tiempo de 0,005s entre el total de carrocerías que completan el proceso. Los resultados muestran que el tiempo mínimo necesario para la finalización del Proceso es de 110,72s, mientras que el promedio de tiempo de que finalice el proceso es de 110,82s, y el tiempo máximo que una carrocería puede demorar en finalizar todos los procesos es de 110,96s. Este análisis permite concluir que el módulo didáctico implementado es altamente fiable, ya que el error mínimo es de 0,024 segundos. Además, el nivel de confianza alcanza el 95%, equivalente a un valor de 0,03. En consecuencia, se puede afirmar que las mediciones obtenidas son precisas y que el módulo didáctico ha demostrado un excelente rendimiento al realizar los procesos evaluados.

En la Ilustración 4-1: se presenta una representación gráfica que muestra el tiempo transcurrido para que cada una de las carrocerías complete todas las etapas dentro del módulo didáctico.

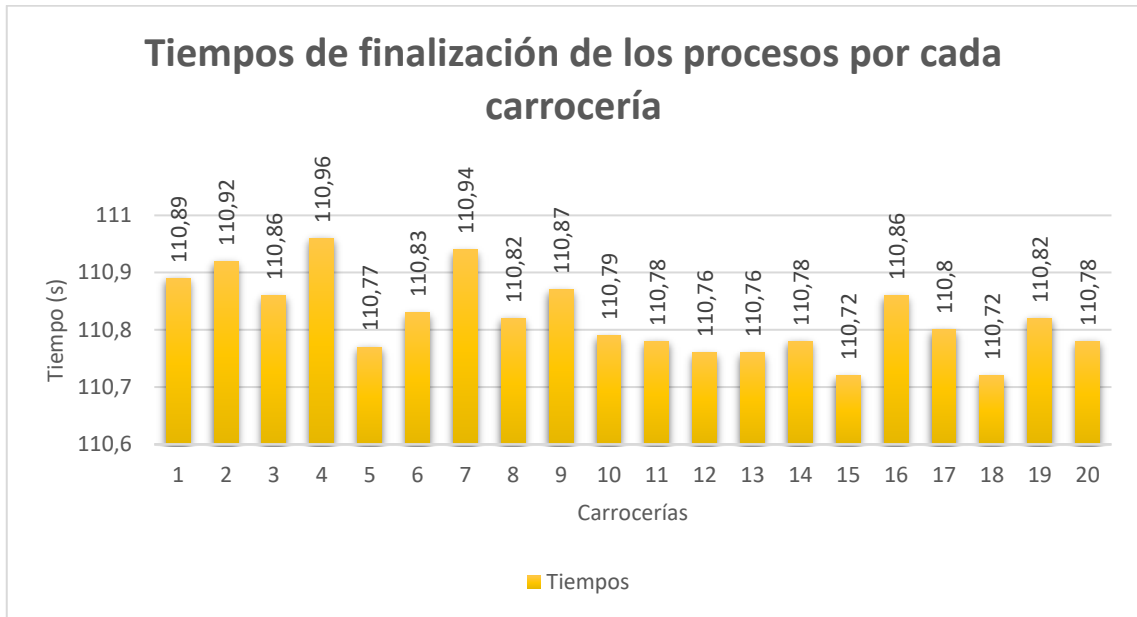


Ilustración 4-1: Tiempos de la prueba 1 en 20 carrocerías

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

4.7 Inmersión de la carrocería.

La inmersión de la carrocería se produce durante la etapa de fosfatado y lavado, el porcentaje exacto de cobertura que se busca durante el proceso de fosfatado dependerá de las normas y estándares específicos de la industria y el tipo de tratamiento que se esté realizando. Debido a que se está implementado un módulo didáctico se consideró porcentajes menores a los 95%. Es importante considerar que el nivel de sumergimiento está influenciado por dos factores principales: la altura del tanque utilizado y la longitud del bastidor del actuador neumático empleado. Para la toma de datos se consideró las siguientes medidas.

- Altura de la carrocería: 8,7cm
- Longitud del vástago: 12 cm
- Altura del tanque: 10cm

Tabla 4-15: Toma de datos del porcentaje de inmersión de la carrocería

Proceso de fosfatado		
# Prueba	% Inmersión	Descripción
1	94,10	-
2	94,10	-
3	94,10	-
4	94,10	-
5	94,10	-
6	94,10	-
Proceso de lavado		
# Prueba	% Inmersión	Descripción
1	93,33	-
2	93,33	-
3	93,33	-
4	93,33	-
5	93,33	-
6	93,33	-

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

La inmersión de la carrocería en la etapa de fosfatado se tiene un porcentaje de 94.10% correspondiente a una altura de 8,2 cm y un error de 0,5 cm. En la etapa de lavado se tiene un porcentaje de inmersión de. 93,33% correspondiente a la altura de 8,1cm y un error de 0,6 cm. Considerando las 6 pruebas realizadas presentes en Tabla 4-15: no presenta variaciones tanto en el proceso de fosfatado como en el de lavado, por ende, los porcentajes se mantienen constantes, asegurando que el margen de error no cambiara y se tendrá los mismos resultados en todas las carrocerías que pasen por el proceso.

4.8 Pruebas del controlador de temperatura.

En la etapa de secado se tiene una termocupla tipo J que censa la temperatura presente en el horno y el controlador que permite el apagado del foco cuando excede el setpoint establecido a 40°C asegurando la temperatura deseada. En la Tabla 4-16: se presenta los datos obtenidos por el controlador ITC-100VL y el termómetro digital DIKAG HG01 donde se puede observar que el controlador no presenta mucha variación de los datos con respecto a su media muestral, de igual manera para los datos tomados con el Termómetro digital.

Tabla 4-16: Toma de datos del grado de temperatura presente en la etapa de secado de la carrocería.

Prueba	Controlador de temperatura ITC-100VL (°C)	Termómetro de mano	Error absoluto (°C)
		DIKAG HG01 (°C)	
1	41,10	40,20	0,90
2	40,30	39,40	0,90
3	39,40	39,00	0,40
4	39,50	39,00	0,50
5	39,60	39,00	0,60
6	40,80	40,40	0,40
7	40,50	40,40	0,10
8	39,90	40,80	0,90
9	40,50	40,80	0,30
10	41,30	41,30	0,00
Media	40,29	40,03	0,26
Varianza	0,45	0,74	

Realizado por: Aldaz Jimmy, Remache Edison, 2023.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Al analizar el estado del arte de sistemas automatizados para el proceso de fosfatado, lavado y pintado de carrocerías, podemos afirmar que existe un avance significativo en la industria de la automatización y la manufactura. Los sistemas automatizados han demostrado ser una solución efectiva para mejorar la eficiencia, la calidad y la consistencia en estos procesos críticos dentro de la producción de vehículos. A lo largo de esta investigación, se ha observado que los sistemas automatizados han evolucionado para abordar desafíos específicos en cada etapa del proceso. En el caso del fosfatado, se ha logrado una mejor distribución de los recubrimientos fosfatados, lo que resulta en una mayor resistencia a la corrosión y una base más sólida para la aplicación de la pintura. En cuanto al lavado, los sistemas automatizados han mejorado la eliminación de residuos y partículas, garantizando una superficie limpia que promueve una adhesión óptima de la pintura. Por último, en la etapa de pintado, los sistemas automatizados han permitido un control preciso de la aplicación de pintura, reduciendo el desperdicio y asegurando una cobertura uniforme.

El estado del arte de sistemas automatizados para el proceso de fosfatado, lavado y pintado de carrocerías demuestra un claro potencial para revolucionar la eficiencia y la calidad en la producción de vehículos. La combinación de una planificación cuidadosa, la elección adecuada de tecnologías y una dedicación constante al aprendizaje y la mejora continua permitirá a las industrias seguir avanzando hacia procesos de fabricación más eficientes, sostenibles y de alta calidad en el futuro.

Se estableció los requerimientos para el sistema, las dimensiones para el diseño estructural son de 1000x2048x2400 mm de largo, altura y profundidad respectivamente, instalación eléctrica con cableado y protección necesarios para la alimentación de los dispositivos seleccionados, Un controlador lógico programable que se encargara de controlar el proceso, una banda transportadora que llevara las carrocerías a través del módulo, un pórtico tipo pick and place Y-Z en la etapa de fosfatado y secado, un controlador de temperatura para el horno de secado y un sistema SCADA para visualizar y controlar el proceso.

Se definió en Software y hardware necesarios para la implementación del módulo. Para el control se utilizó un PLC Wecon LX5S de 16 entradas y 16 salidas, dos motores paso a paso que funcionan con sus respectivos generadores de frecuencia y driver, un cilindro doble vástago y una pinza neumática para la sujeción de la carrocería, un ventilador de pre-secado, un aerógrafo con motos DC para el pintado, un controlador de temperatura, una termocupla tipo J para medir la temperatura, un relé de estado sólido junto con un lámpara para el secado, 3 electroválvulas, dos

sensores magnéticos para la posición del vástago del cilindro, 3 sensores magnéticos para determinar la posición del pórtico y 4 sensores inductivos para detectar la carrocería en las diferentes etapas del módulo, y los programas Wecon PLC Editor2 y PIStudio.

Mediante las pruebas de funcionalidad se determinó que no existen fallos ni pérdida de datos y al desarrollar sus ciclos correspondientes de funcionamiento se tuvo medias de funcionamiento de 9.91 segundos en la banda transportadora, 62.10 segundos en la etapa de fosfatado y lavado, 19.06 segundos en la etapa de pintado y 15.057 segundos en la etapa de secado, y al realizar el funcionamiento total del módulo se tuvo una media de funcionamiento de 110.82 segundos, por lo tanto, se validó que el módulo es óptimo.

RECOMENDACIONES

Para futuras implementaciones se recomienda considerar los gases y temperaturas en que trabajará el sistema para seleccionar los elementos con un grado de protección adecuados.

Se recomienda tomar en cuenta que tipo de fosfato se está utilizando para de esta manera determinar el grosor y material de los tanques ya que estos pueden presentar agujeros por el compuesto al que están sometidos.

Tomar en consideración la forma de la carrocería para seleccionar el actuador final de sujeción del pórtico adecuado para que se realice una sujeción adecuada.

Se recomienda considerar el peso de las carrocerías para dimensionar de manera correcta el pórtico con la capacidad de levantar dicho peso.

Se recomienda para una mejor interacción con el módulo didáctico obtener una representación de su gemelo digital que permita la puesta en marcha del módulo para un mejor aprendizaje.

Para un mejor uso de los recursos digitales de la información del proceso para la toma de decisiones en tiempo real se recomienda implementar tecnología 4.0 al módulo implementado.

BIBLIOGRAFÍA

ALIEXPRESS, [sin fecha]. Controlador de Motor paso a paso, controlador CNC PWM generador de señal de pulso, placa reguladora de velocidad, Módulo de placa controladora de accionamiento de Motor - AliExpress. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/1005004757934017.html?spm=a2g0o.productlist.main.101.ad544072NeHDuv&algo_pvid=65b70d4e-07fc-4b9e-919b-a76eb23029c1&algo_exp_id=65b70d4e-07fc-4b9e-919b-a76eb23029c1-50&pdp_npi=4%2540dis%2521USD%252110.81%25215.08%2521%2521%252110.81%2521%2521%25

AMAZON, 2019. Baomain CS1-U - Interruptor de sensor magnético para cilindro de aire, no DC10-30 V, 200 mA, con indicador LED rojo : Amazon.com.mx: Herramientas y Mejoras del Hogar. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.amazon.com.mx/Baomain-CS1-U-Sensor-magnético-cilindro/dp/B011ZAFRWC>.

AMAZON, 2021. Amazon.com: TN10x75 - Cilindro neumático de aire neumático de aleación de aluminio de doble varilla de 2.953 in de diámetro TN10-75 TDA10-75 : Industrial y Científico. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.amazon.com/TN10x75-Aluminum-Pneumatic-Cylinder-TDA10-75/dp/B09NTM3XXW>.

AMAZON, 2023. Amazon.com: STEPPERONLINE Motor paso a paso CNC Nema 23 bipolar 2.8A 269oz.in/1.9Nm CNC fresadora enrutadora de torno : Herramientas y Mejoras del Hogar. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/STEPPERONLINE-bipolar-269oz-fresadora-enrutadora/dp/B00PNEPI0A>.

AUTOPUERTA, 2020a. ¿Cómo se llama el sensor? - Autopuerta.net: Puertas de cochera y portones automáticos. [en línea]. [consulta: 9 agosto 2023]. Disponible en: <https://autopuerta.net/como-se-llama-el-sensor/>.

AUTOPUERTA, 2020b. ¿Cómo trabaja el sensor y cuántos tipos hay? - Autopuerta.net: Puertas de cochera y portones automáticos. [en línea]. [consulta: 9 agosto 2023]. Disponible en: <https://autopuerta.net/como-trabaja-el-sensor-y-cuantos-tipos-hay/>.

AVM, A., 2022. Manipulador neumático - AVM AUTOMATION - con sistema de apriete / de posicionamiento / de presión. [en línea]. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/avm-automation/product-8908-22568.html>.

B&R AUTOMATION STUDIO, 2018. Texto Estructurado (ST). 2018 [en línea], [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://product-help.schneider-electric.com/Machine>

Expert/V1.1/es/SoMProg/SoMProg/ST_Editor/ST_Editor-6.htm.

BARRIENTOS, A. y GAMBOA, E., 2014. *Sistemas de producción automatizados* . Madrid: Dextra Editorial SA.

BRUNETE, A., SAN SEGUNDO, P. y HERRERO, R., 2021. *Introducción a la Automatización Industrial*. Madrid, España: ETSIDI.

BX, L.--z, 2017. Lj12a3-4-z/bx. ,

CASTILLO, D., 2023. Marcas de PLC en la Industria - Cursos Online DC Control. [en línea]. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://cursosonline.dccontrolservices.com/cuales-son-las-principales-marcas-de-plcs-en-la-automatizacion-industrial/>.

CENTRO DE FORMACION TECNICA, 2019. Qué es la simulación de procesos industriales y cómo se realiza. [en línea]. [consulta: 30 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-simulacion-de-procesos-industriales/>.

CONTROL, A. y, 2020. Qué es la automatización industrial y sus beneficios en la empresa. [en línea]. [consulta: 30 septiembre 2023]. Disponible en: <https://oasys-sw.com/que-es-automatizacion-industrial-beneficios/>.

CORONA, L.G., ABARCA, G.S. y MARES, J., 2014. Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino. *Publicacion En Internet* [en línea], no. October, [consulta: 9 agosto 2023]. ISSN 2198-6452. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/345114462/Sensores-y-actuadores-aplicaciones-con-Arduino-pdf#>.

DALMEC, 2016. ¿Qué es un manipulador industrial? [en línea], [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.dalmec-na.com/es/blog/que-es-un-manipulador-industrial/>.

EBAY, 2023. Controlador de motor paso a paso ZK-SMC02 42 57 controlador CW CCW control serie TTL | eBay. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.ebay.com/itm/115152708143>.

ELECTRONIC, L., 2022. Sistemas de Control de lazo abierto y lazo cerrado. *Sistemas de control de lazo abierto y lazo cerrado* [en línea]. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/lazo-abierto-y-lazo-cerrado/>.

ELECTRONILAB, 2022. *Driver Microstepper Motor Paso a Paso – TB6560 – 3A 10-35VDC - Electronilab* [en línea]. 2022. S.l.: s.n. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/driver-microstepper-motor-paso-paso-tb6600-0-2-5a-12-48vdc/>.

ELIAS-ESPINOSA, M., ORTIZ-DOMÍNGUEZ, M., KEDDAM, M., GÓMEZ-VARGAS,

O.A., ARENAS-FLORES, A., BARRIENTOS-HERNÁNDEZ, F.R., WEST, A.R. y SINCLAIR, D.C., 2015. Boriding kinetics and mechanical behaviour of AISI O1 steel. *Surface Engineering*, vol. 31, no. 8, ISSN 0267-0844. DOI 10.1179/1743294415Y.0000000065.

GALICIA, E., 2022. EBM VENTILADOR 230VAC en VENTILADORES INDUSTRIALES | Grupo Electrosón Galicia. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.electroson.com/producto/sunon-ventilador-24vdc/KDE2405PFV1>.

GOÑI, I., 2014. Relación de la documentación existente sobre el Proceso de Pintado de carrocerías en Volkswagen Navarra. ,

GONZÁLES, D., 2006. Diseño de la cabina de pintura de un taller automotriz de enderezado y pintura. ,

GUEVARA, PEDRO; FALCON, JOSÉ; SANDOVAL RAÚL; MNEDEL, J., 2009. Equipos didácticos industriales en el modelo educativo de los Cecati. ,

HÖRMAN, B. y SCHADE, T., 2009. Control Unit. *Nordic Talking*, DOI 10.1007/978-3-211-99214-2_19.

HUERTA, A., 2021. Resumen Criterios de selección de un sensor y acondicionamiento de señal - 2 Un sensor es un - Studocu. [en línea]. [consulta: 9 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-la-laguna/instrumentacion/resumen-criterios-de-seleccion-de-un-sensor-y-acondicionamiento-de-senal/26586919>.

HURTADO, J., [sin fecha]. Introducción a las Redes de Comunicación Industrial. [en línea]. S.l.: [consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: https://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccion3b3n-a-las-redes-de-comunicacion3b3n-industrial.pdf.

IGUAGO, J. y CAÑIZARES, D., 2013. Mejoramiento del proceso de pintura electrolítica (ELPO) aplicada a la industria automotriz de AYMESA. ,

INDIAMART, [sin fecha]. MHZ2 16D, For FACE MASK MCN MFG at Rs 1550/piece in Ahmedabad | ID: 23488910433. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/mhz2-16d-23488910433.html>.

INDUSTRIAS, G., 2021a. conexion de plc. *02 junio* [en línea]. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/marcas-de-plc>.

INDUSTRIAS, G., 2021b. Sensor magnético – Industrias GSL. [en línea]. [consulta: 9 agosto

2023]. Disponible en: https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/sensor_magnetico.

INGMECAFENIX, 2020. Como funciona el sensor de proximidad de ru movil. [en línea]. [consulta: 9 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/capacitivo/>.

JORNET, J., 2014. Prueba «t» de Student. *Universidad de Valencia: Grupo de Innovación Educativa* [en línea], Disponible en: <https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/Prueba-t-de-Student.pdf>.

JUAN, R., 2006. Selección de una nueva arquitectura de control y supervision de una celula robotizada de pintado de carrocerias. ,

JUAREZ, V.L., 2019. Wilcoxon Wilcoxon. *Pruebas* [en línea], no. 9, Disponible en: www.endocrinologia.org.mx.

LASHIN, M.M., 2014. Different Applications of Programmable Logic Controller (PLC). *International Journal of Computer Science, Engineering and Information Technology*, vol. 4, no. 1, ISSN 22313605. DOI 10.5121/ijcseit.2014.4103.

LLOPIS, R., ROMERO, J. y ARIÑO, C., 2010. *Automatización Industrial*. Primera Edicion. España: Sepiantia.

LOSADA, G.A.Z. y PINZON, D.A.G., 2021. *CREACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE BRAZOS ROBÓTICOS TIPO PICK AND PLACE* [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/43052>.

MATA, E., 2022. Universidad Técnica de Cotopaxi UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI. *Sistema Biodigestor*,

MECATRONICA, 2023. Fuente de Alimentación 24V 5A 120W - MEGATRONICA. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: <https://megatronica.cc/producto/fuente-de-alimentacion-24v-5a-120w/>.

MEINSA, 2022. Historia de los sistemas de control industrial. [en línea]. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://meinsa.com/2022/11/historia-sistemas-control-industrial/>.

OMEGA, 2020. PID Controller: Types, What It Is & How It Works | Omega. *Omega.co.uk* [en línea]. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.omega.com/en-us/resources/pid-controllers>.

OMRON, 2022. Controladores lógicos programables CS1 | Omron. *PLC CS1* [en línea].

[consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://automation.omron.com/es/us/products/family/CS1>.

ORTEGA, C., 2023. Prueba t: Qué es, ventajas y pasos para realizarla. *Question Pro* [en línea]. [consulta: 17 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/prueba-t-de-student/>.

PEPPERL+FUCHS, 2016. Sensores inductivos | Método de detección y función. [en línea], [consulta: 9 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/39731.htm>.

PÉREZ-MOLINA, C., GOMEZ, M.J.A., GIL, R., ORUETA, G.D., SANCRISTOBAL, E., MARTIN, S., TAWFIK, M., CASTRO, M., PESQUERA, A. y LORO, F.G., 2013. Performance-centered adaptive curriculum for employment needs. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, DOI 10.18260/1-2--22347.

PICUINO, 2020. Controlador PID - Control Automático - Picuino. *Controlador PID - Control Automático* [en línea]. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>.

PLATAS, V., 2021. Contrastes de normalidad. [en línea], [consulta: 3 noviembre 2023]. Disponible en: http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap5-6.htm.

PORTAL TECNOLOGICO, [sin fecha]. CABLE PARALELO DB25 MACHO LPT - Latacunga. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: <https://portaltecnologico.com/inicio/309-cable-paralelo-db25-macho-lpt.html>.

PREVIEW, T.S., 2015. INTERNATIONAL STANDARD Safety of machinery — Emergency stop function — Principles for design iTeh STANDARD PREVIEW iTeh STANDARD PREVIEW. , vol. 2015,

PRO, U. y INFORMATIONEN, W., 2013. Unity Pro. , vol. 49, no. 0,

PROCESOS, D.E., 2021. Automatización de procesos. ,

RELA, A., 2010. *Colección: LAS CIENCIAS NATURALES Y LA MATEMÁTICA*. S.l.: s.n. ISBN 9789500007740.

ROMECO INDUSTRIAL, 2018. 4V220-08 Electrovalvula neumatica 5/2 Puertos 1/4". [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.romecoindustrial.com/producto/electrovalvula-neumatica-4v110-06/>.

ROSADO, A., 2009. Redes de comunicacion industrial. [en línea]. [consulta: 8 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.uv.es/rosado/courses/sid/sid.html>.

SCHNEIDER, 2018. TM221CE24R - Modicon M221 - Controlador M221 c/ Ethernet 24 ES de tipo relé | Schneider Electric España. [en línea]. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/TM221CE24R/controlador-modicon-m221-con-ethernet-24-es-de-tipo-relé/>.

SCHNEIDER, E., 2015. Lenguaje de la lista de instrucciones (IL). [en línea]. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: https://product-help.schneider-electric.com/MachineExpert/V1.1/es/SoMProg/SoMProg/FBD_LD_IL_Editor/FBD_LD_IL_Editor-6.htm.

SDINDUSTRIAL, 2022. *Línea De Producción | ¿Qué Es Y Cómo Funciona? | SDI* [en línea]. 2022. S.l.: s.n. [consulta: 31 octubre 2023]. Disponible en: <https://sdindustrial.com.mx/blog/linea-de-produccion/>.

SHANKAR, K.G., 2008. Control of boiler operation using PLC - SCADA. *Imecs 2008: International Multiconference of Engineers and Computer Scientists, Vols I and II*, vol. II,

SIEMENS, 2022. Product Details - Industry Mall - Siemens WW. [en línea]. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7211-1AE40-0XB0>.

TAILONZ, 2022. TAILONZ PNEUMATIC 10mm Bore 75mm Stroke Double-Rod Double-Acting Aluminum Pneumatic Air Cylinder TN10-75. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: <https://tailonz.com/product/tailonz-pneumatic-10mm-bore-75mm-stroke-double-rod-double-acting-aluminum-pneumatic-air-cylinder-tn10-75>.

TORNERO, J., ARMESTO, L., MORA, M.C., MONTÉS, N., HERRÁEZ, Á. y ASENSIO, J., 2012. Detección de defectos en carrocerías de vehículos basado en visión artificial: Diseño e implantación josep tornero. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, vol. 9, no. 1, ISSN 16977920. DOI 10.1016/j.riai.2011.11.010.

UBUY, 2022. Inkbird AC 100 a 240V ITC-100VH Termostato digital Ecuador | Ubuy. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: https://www.ubuy.ec/es/product/2NAMJWYU-inkbird-ac-100-to-220v-itc-100vh-digital-pid-thermostat-temperature-controller-40da-ssr-black-heat-s?campaign_source=google&campaign_medium=PLA&campaign_name=PLA_1_GGL_2_MA_3_EN_5_Ubuy_India_New_17_WORLD_NEU&campaign.

VALDIVIA MIRANDA, C., 2019. *Comunicaciones Industriales*. Primera Edición. Madrid, España: Paraninfo SA.

VLD-ENG, 2021. Simulación de procesos industriales | Automatización VLD 2020. www.vld-

eng.com [en línea]. [consulta: 31 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.vld-eng.com/blog/simulacion-procesos-industriales/>.

WECON-IIOT, 2022. PLC - wecon-iiot. [en línea]. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://wecon-iiot.com/plc-wecon/>.

WECON, 2022. LX3V 0806M/1208M PLC—Better Team, Better Products, Contribute to Intelligent Manufacturing. [en línea]. [consulta: 16 agosto 2023]. Disponible en: https://www.we-con.com.cn/en/product_page/1796.html.

WECON, [sin fecha]. WECON. [en línea]. [consulta: 15 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.we-con.com.cn/ES/>.

YEW, M.C., RAMLI SULONG, N.H., YEW, M.K., AMALINA, M.A. y JOHAN, M.R., 2013. The formulation and study of the thermal stability and mechanical properties of an acrylic coating using chicken eggshell as a novel bio-filler. *Progress in Organic Coatings*, vol. 76, no. 11, ISSN 03009440. DOI 10.1016/j.porgcoat.2013.06.011.

YUCA, H., 2022. *Capsicum annum L.* 2022. S.l.: s.n. ISBN 9783031077531.

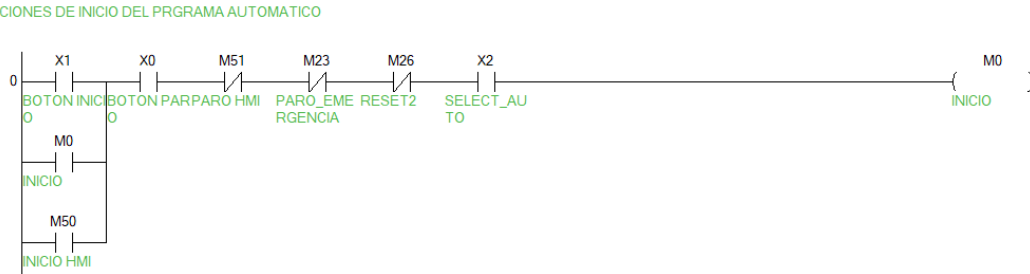


ANEXOS

ANEXO A: DIAGRAMA LADDER DE LAS ETAPAS DE DEL MÓDULO 99 EN FUNCIONAMIENTO AUTOMATICO

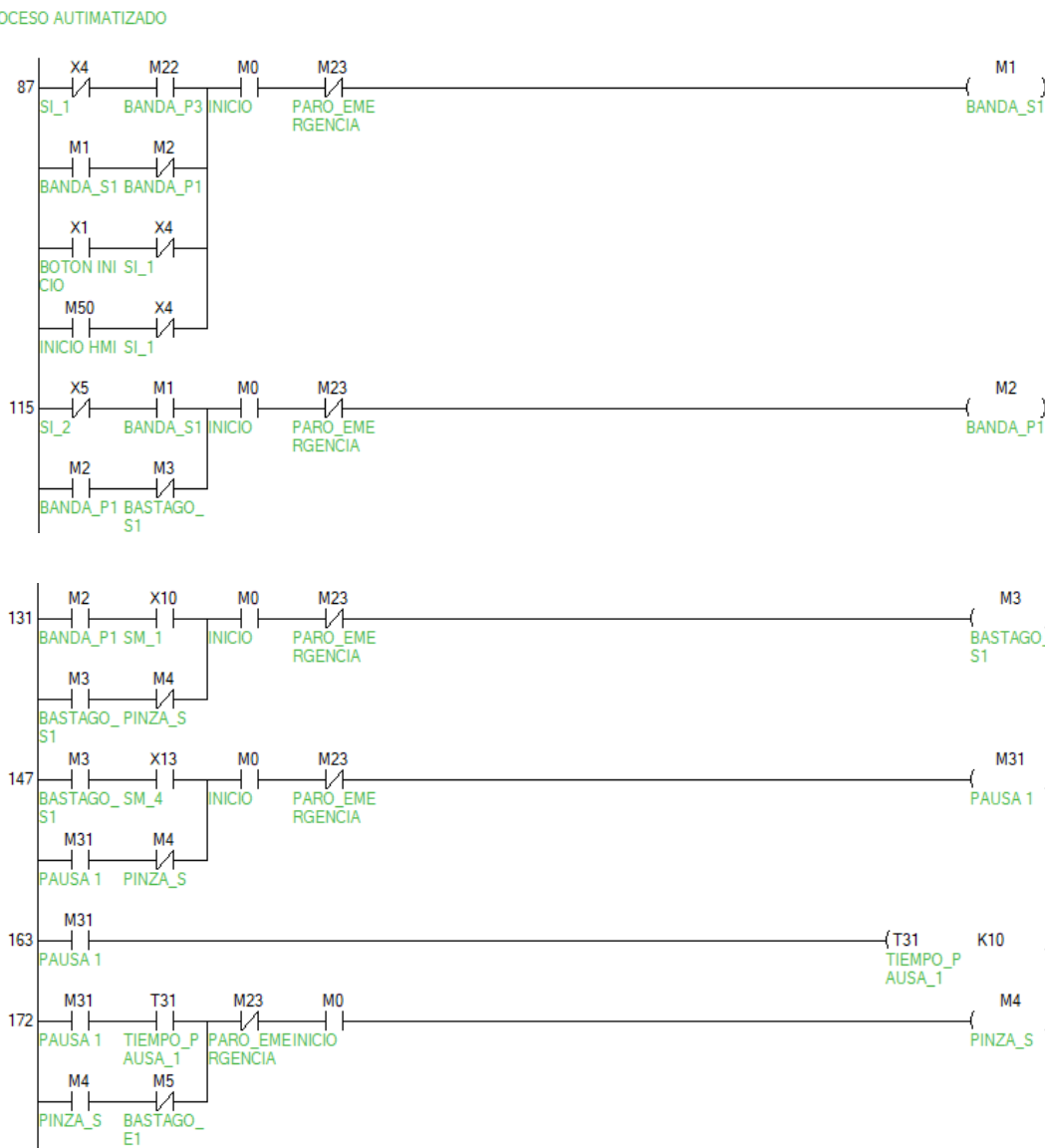
* CONDICIONES DE INICIO DEL PRGRAMA AUTOMATICO

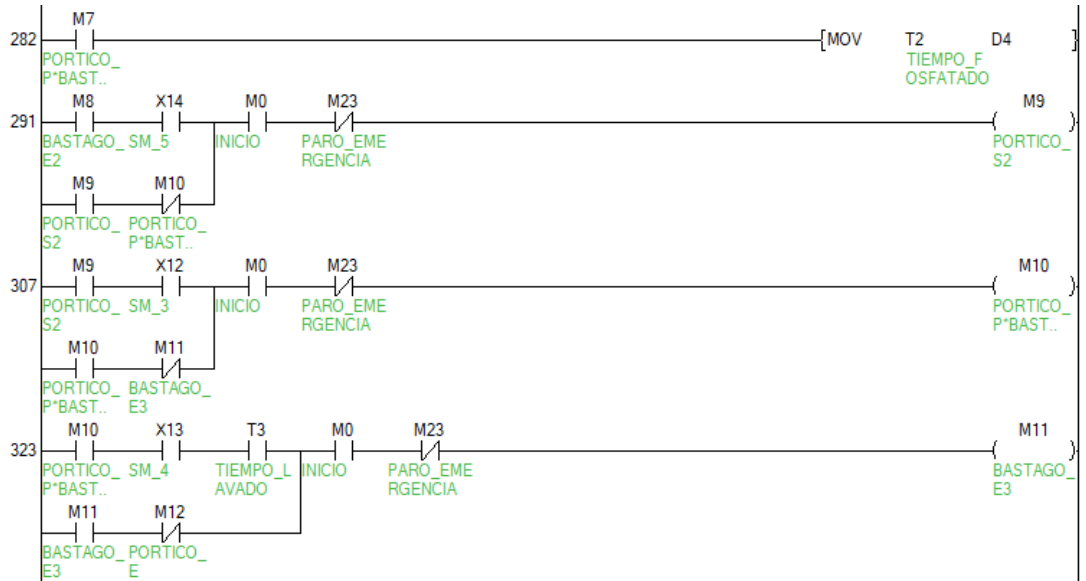
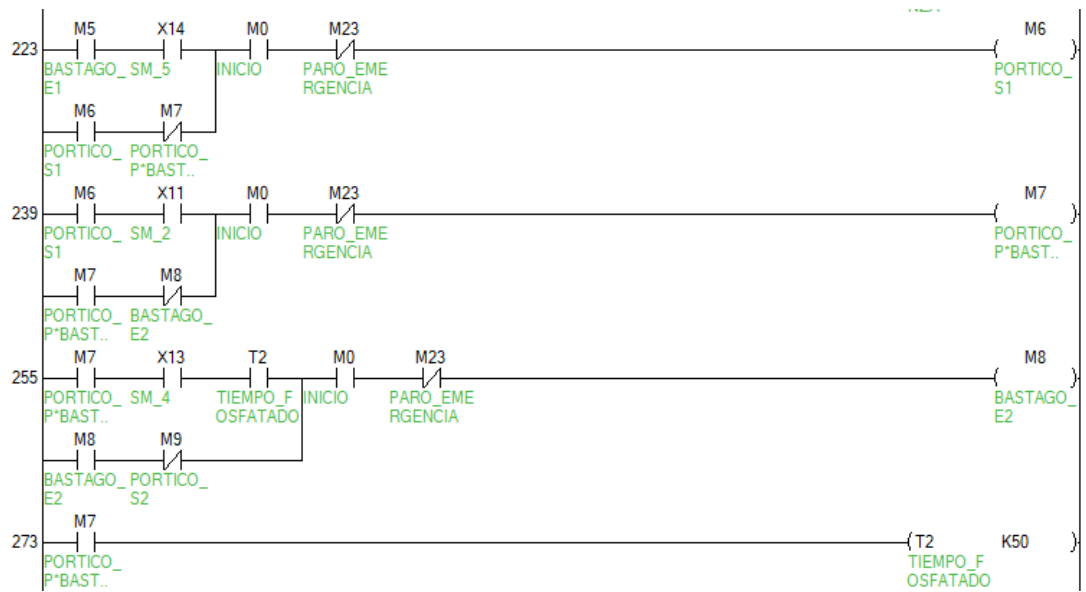
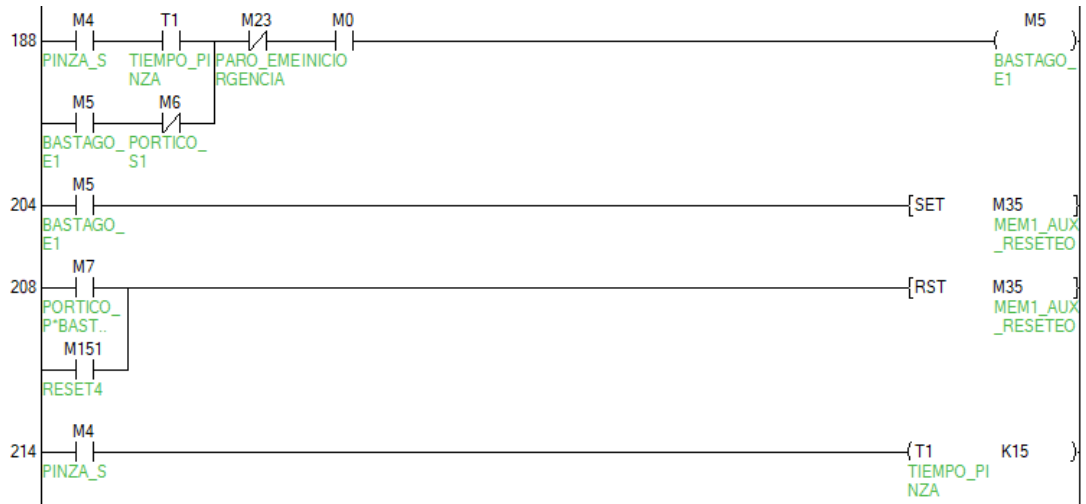
*/

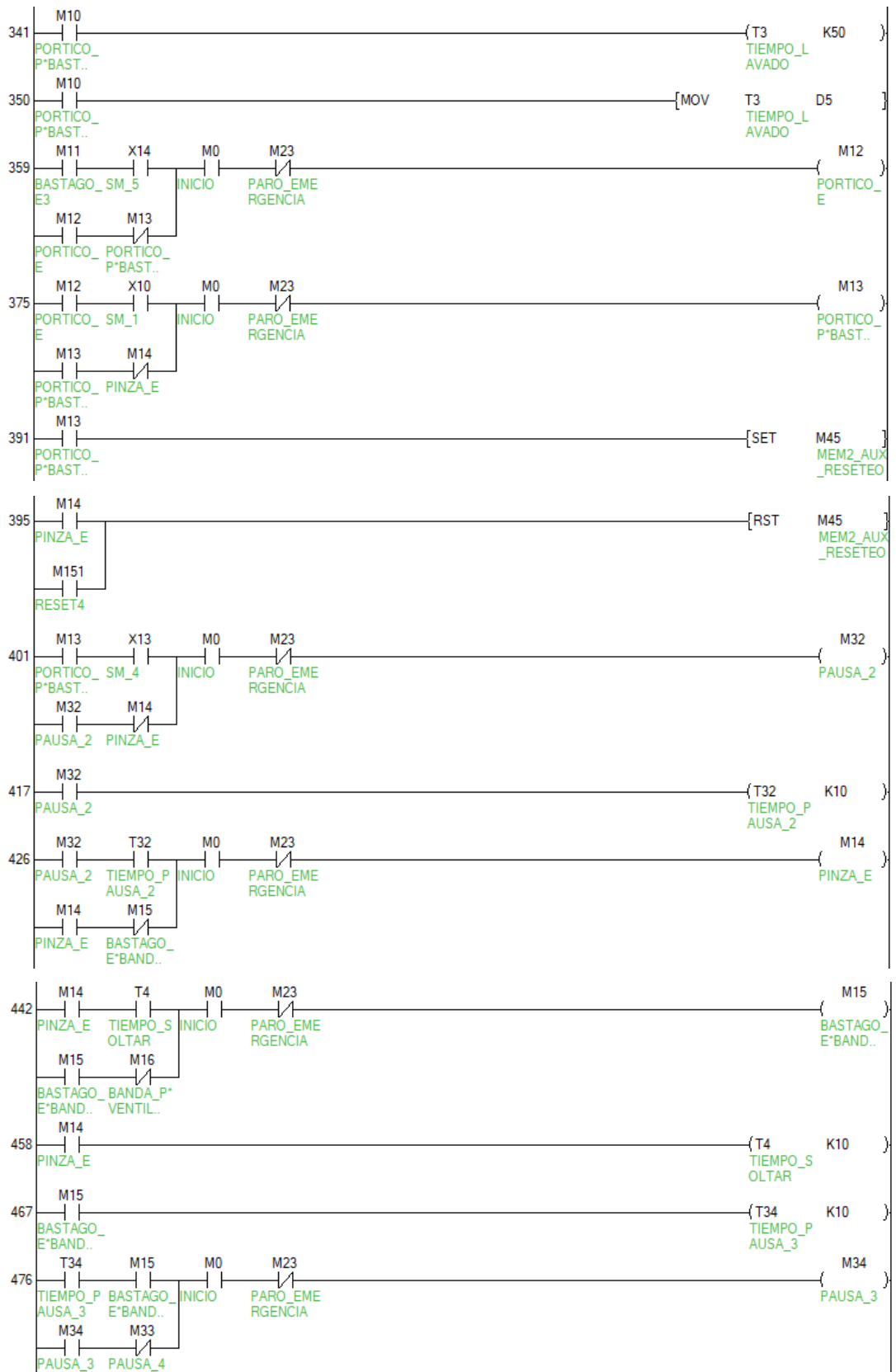


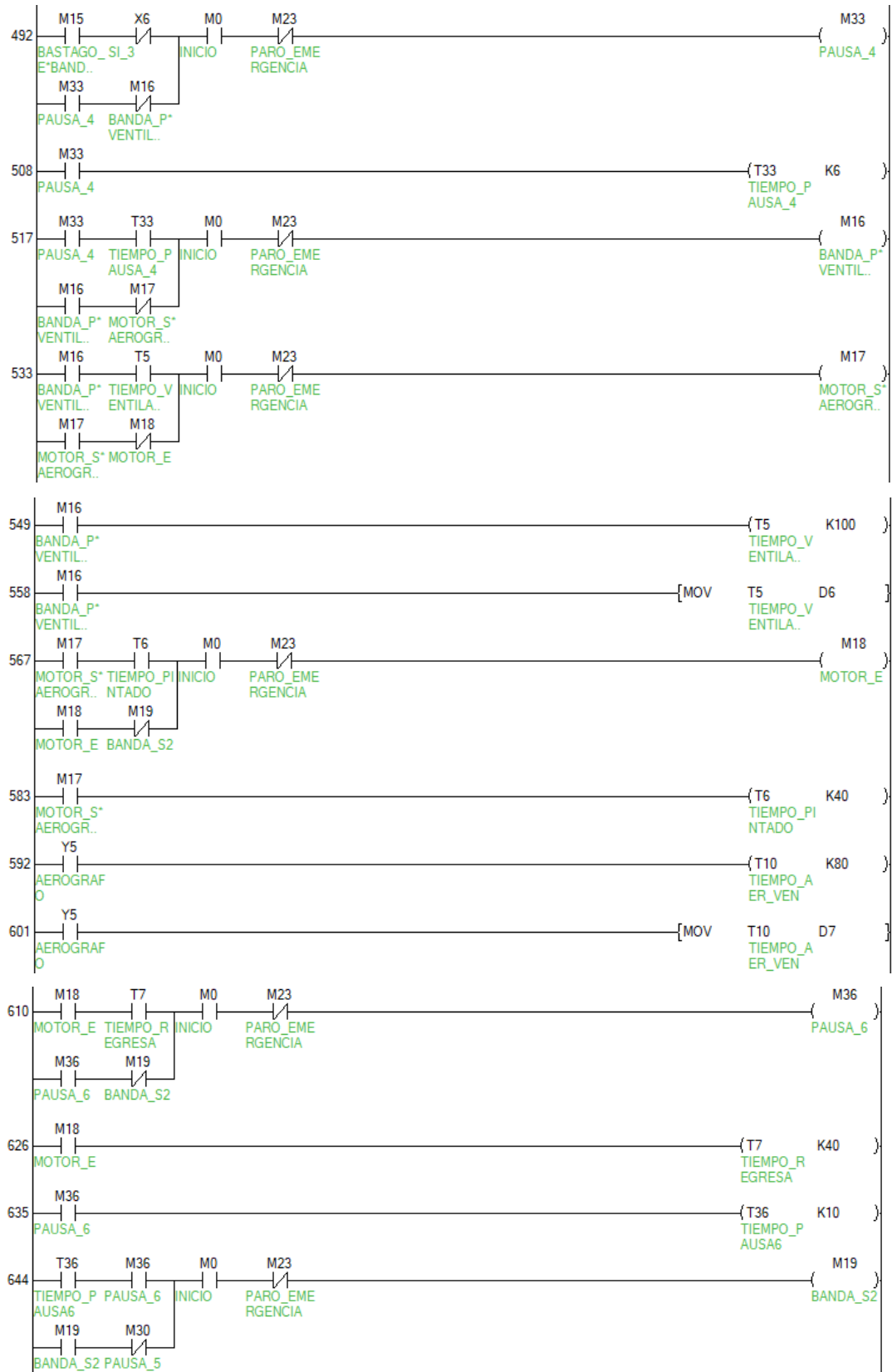
* PROCESO AUTIMATIZADO

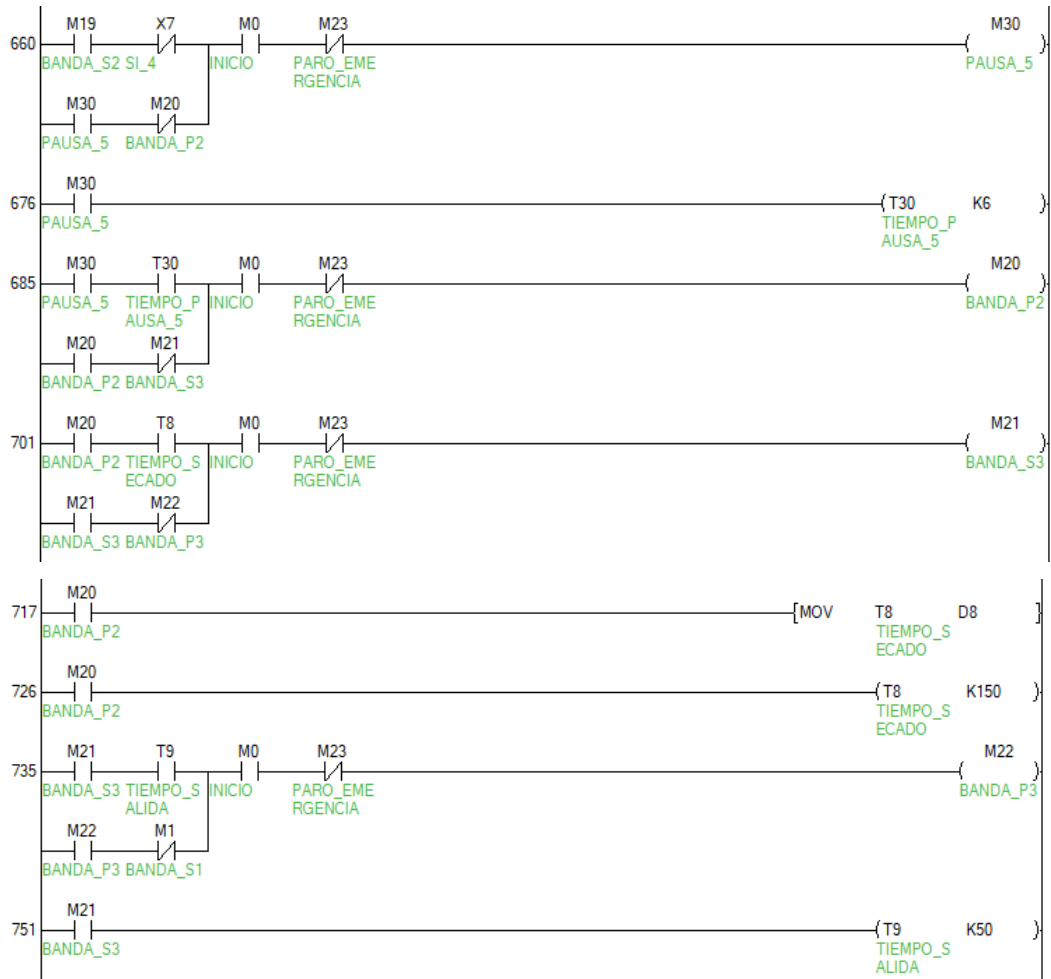
*/



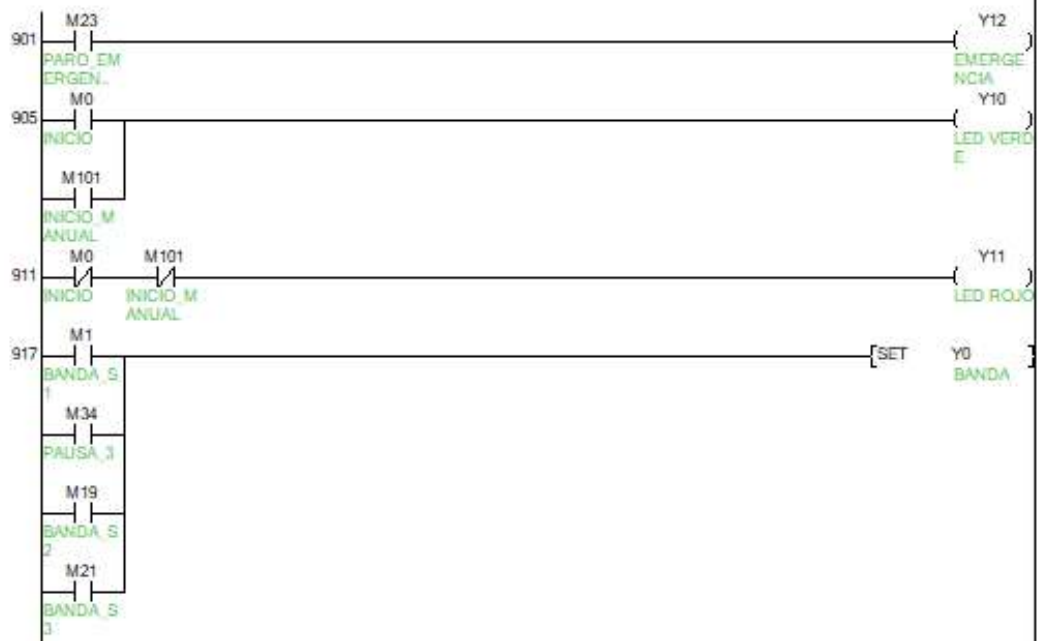


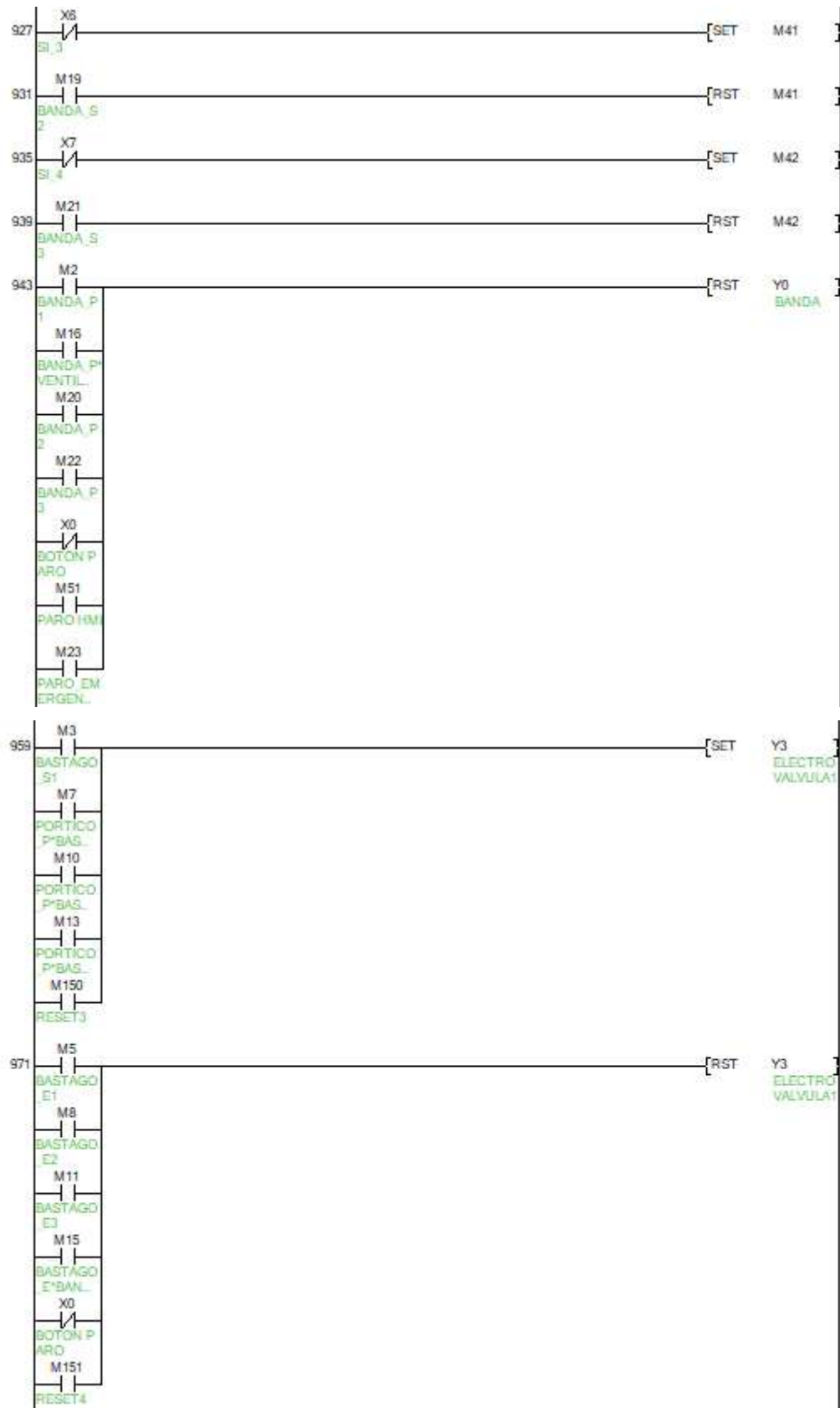


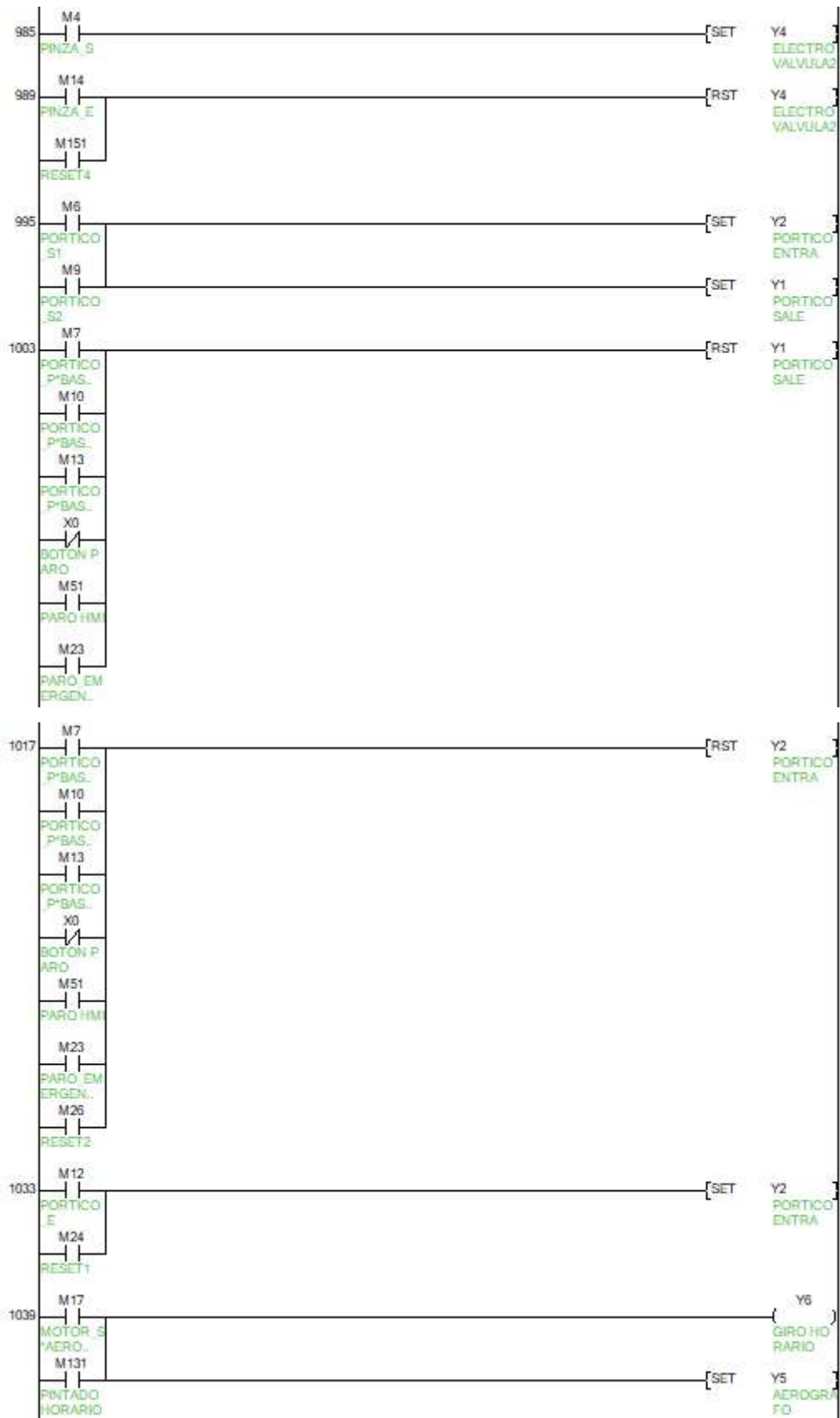


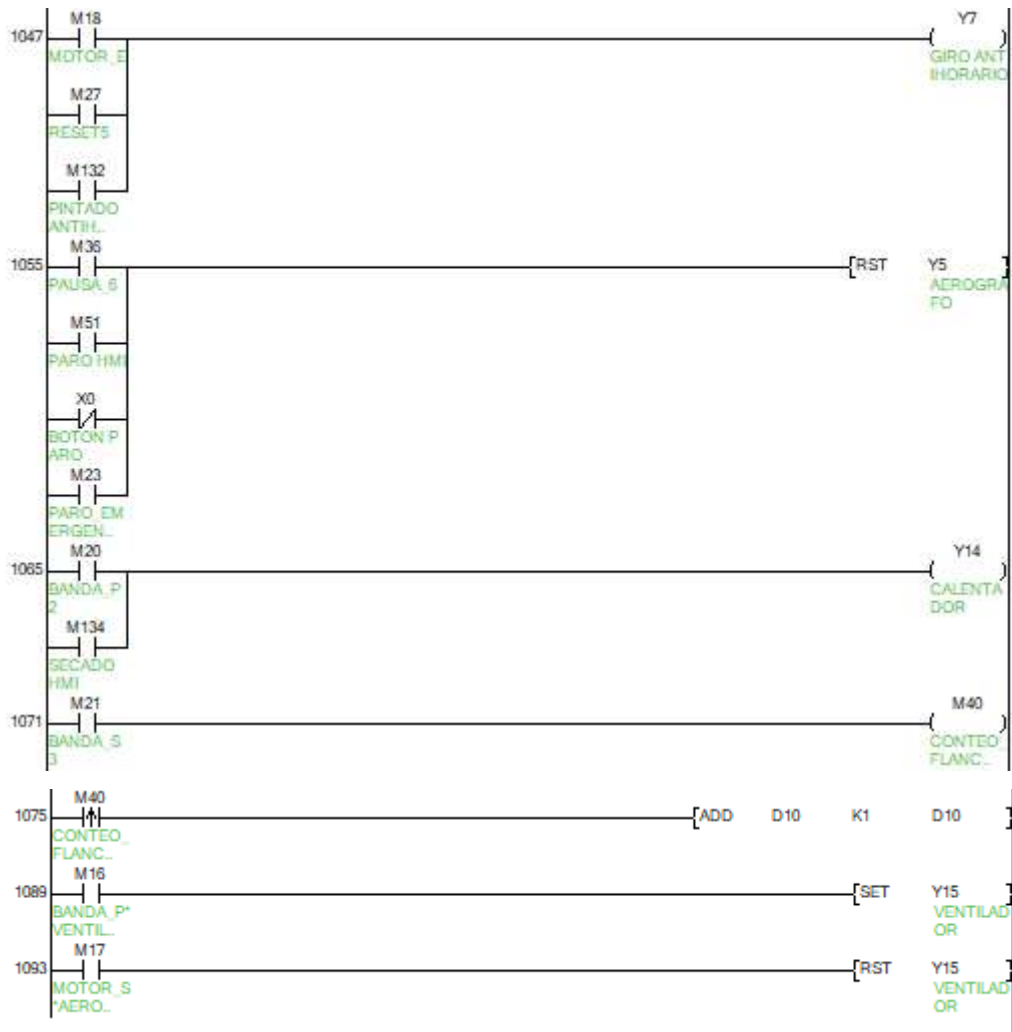


SALIDAS DEL PLC

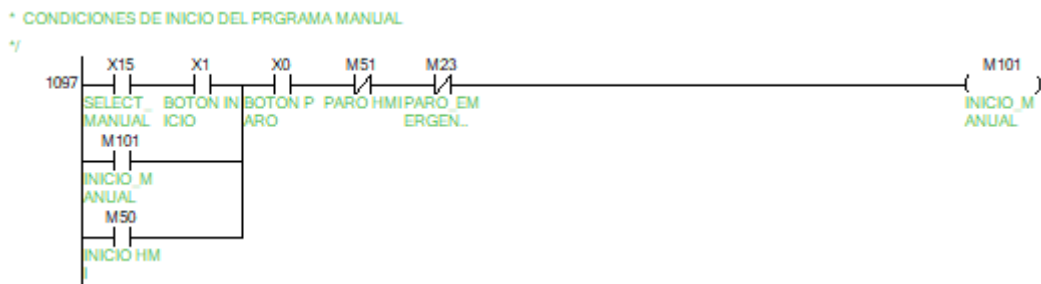




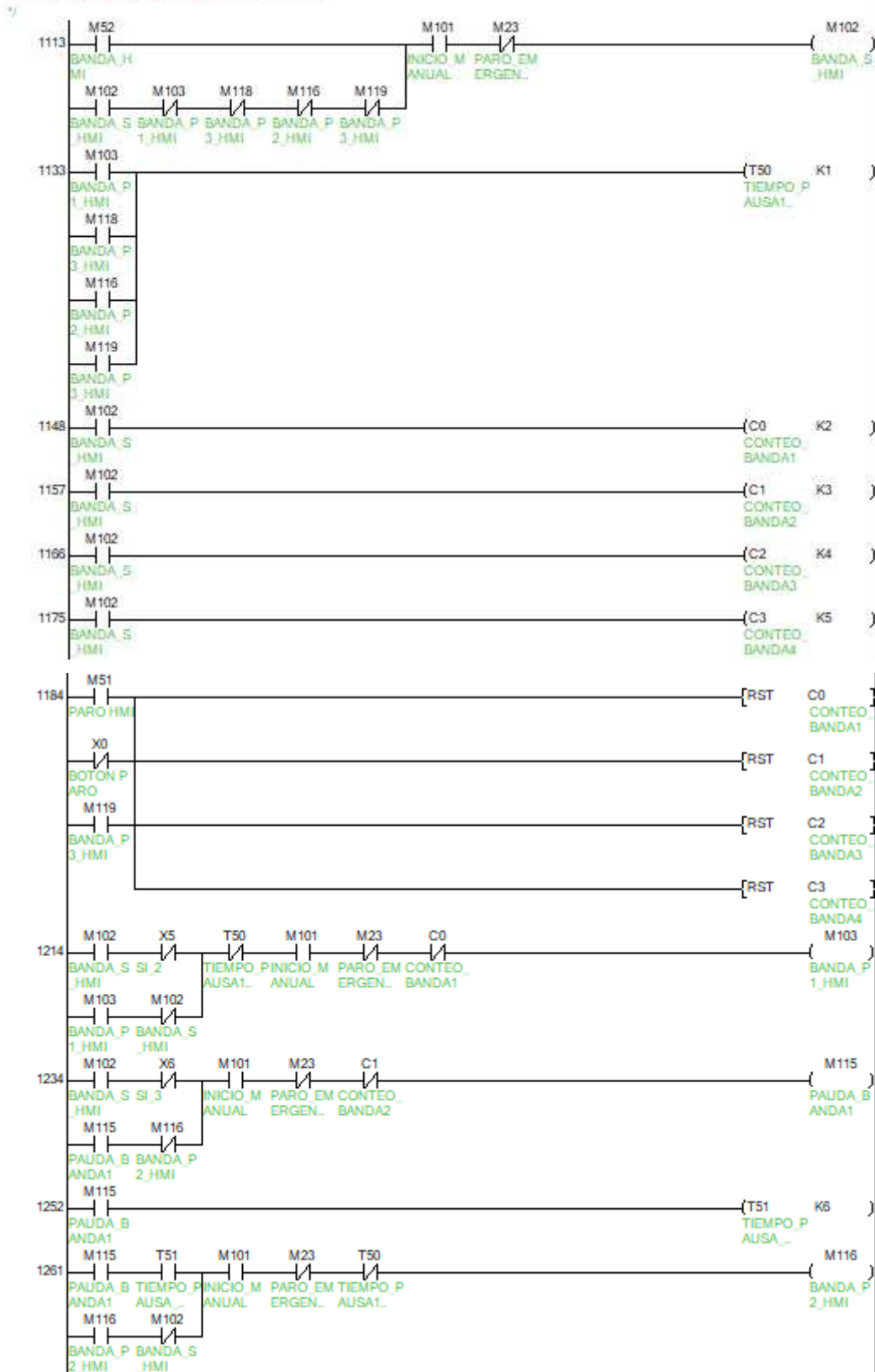


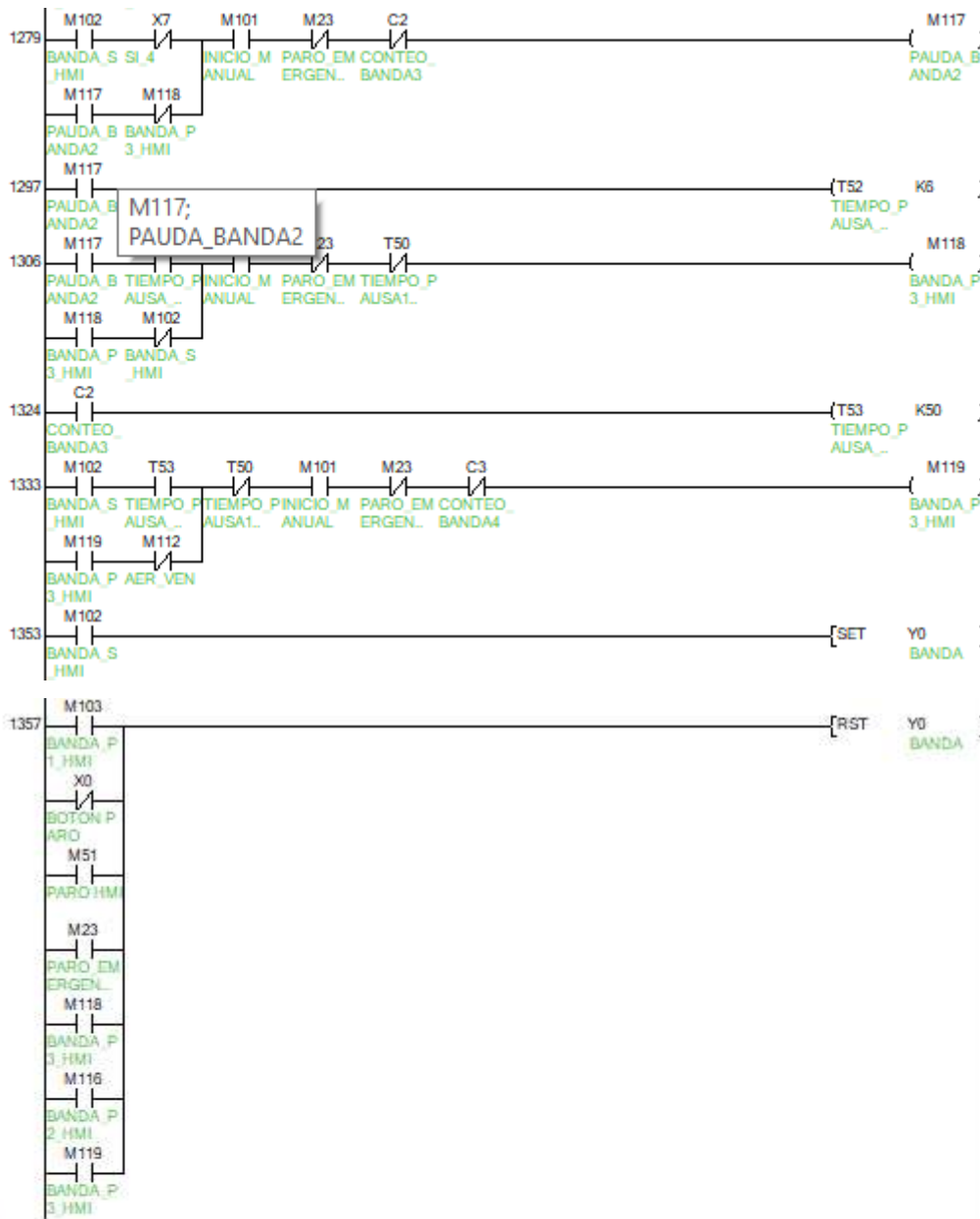


ANEXO B: DIAGRAMA LADDER DE LAS ETAPAS DE DEL MÓDULO EN FUNCIONAMIENTO MANUAL

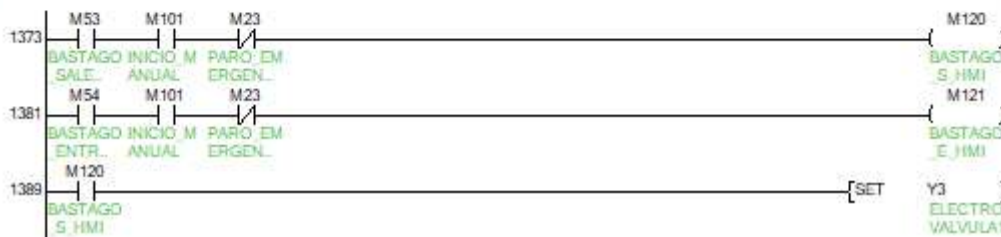


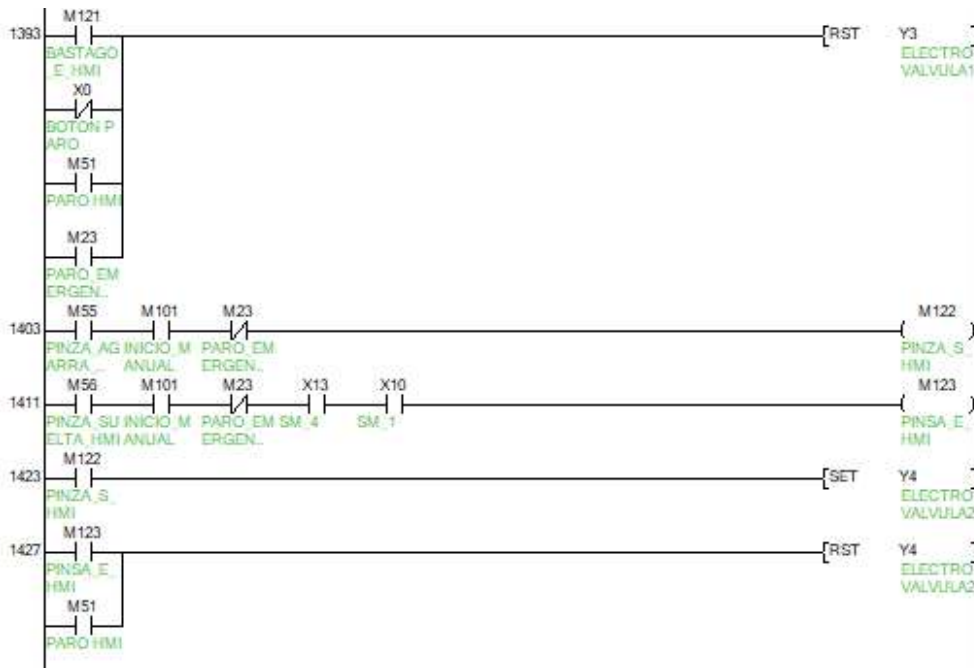
PROCESO MANUAL BANDA TRANSPORTADORA



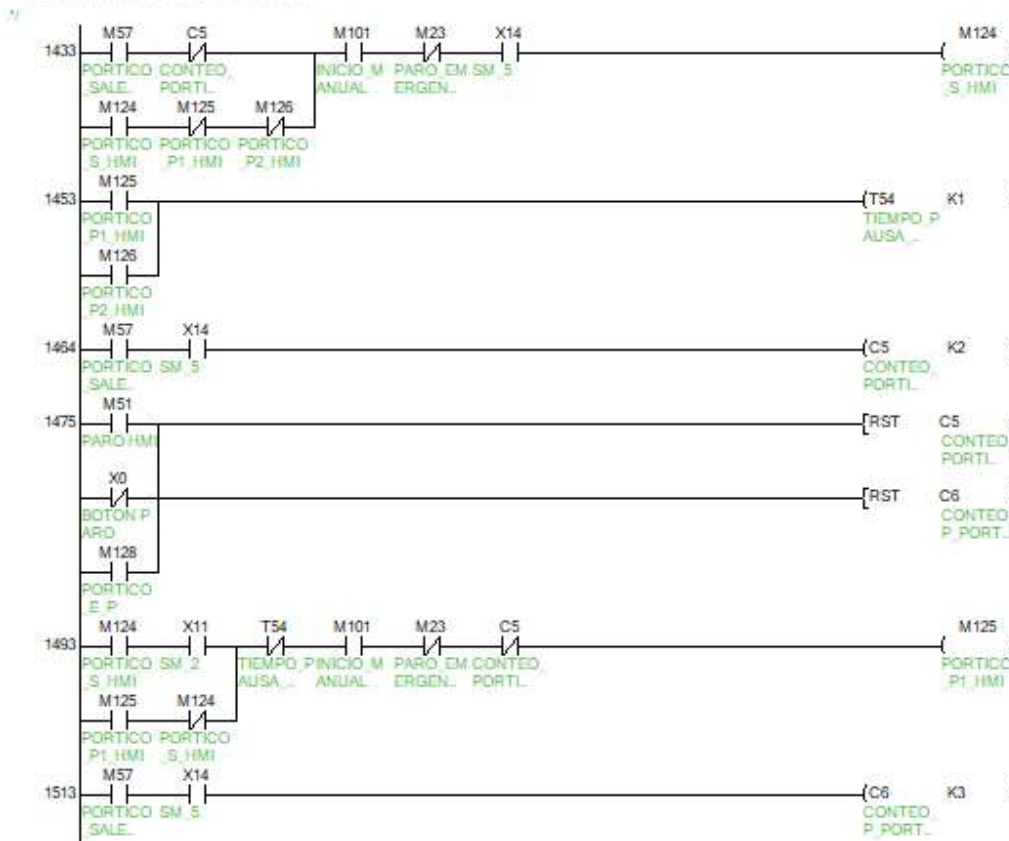


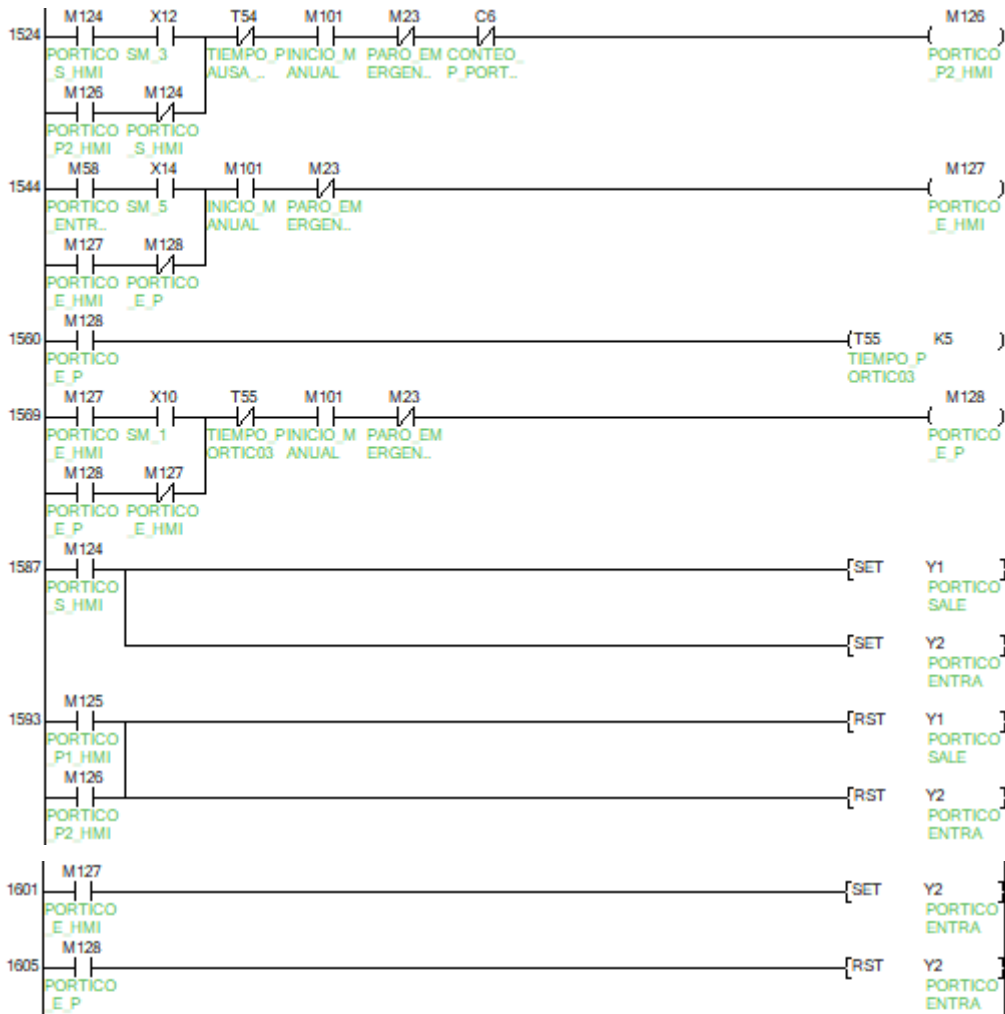
* PROCESO MANUAL FOSFATADO Y LAVADO



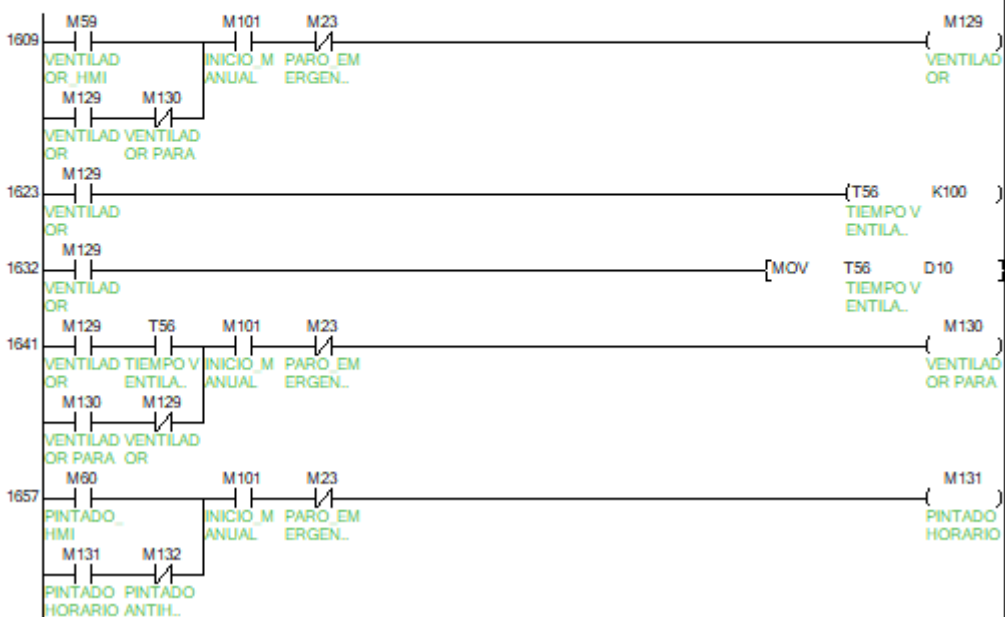


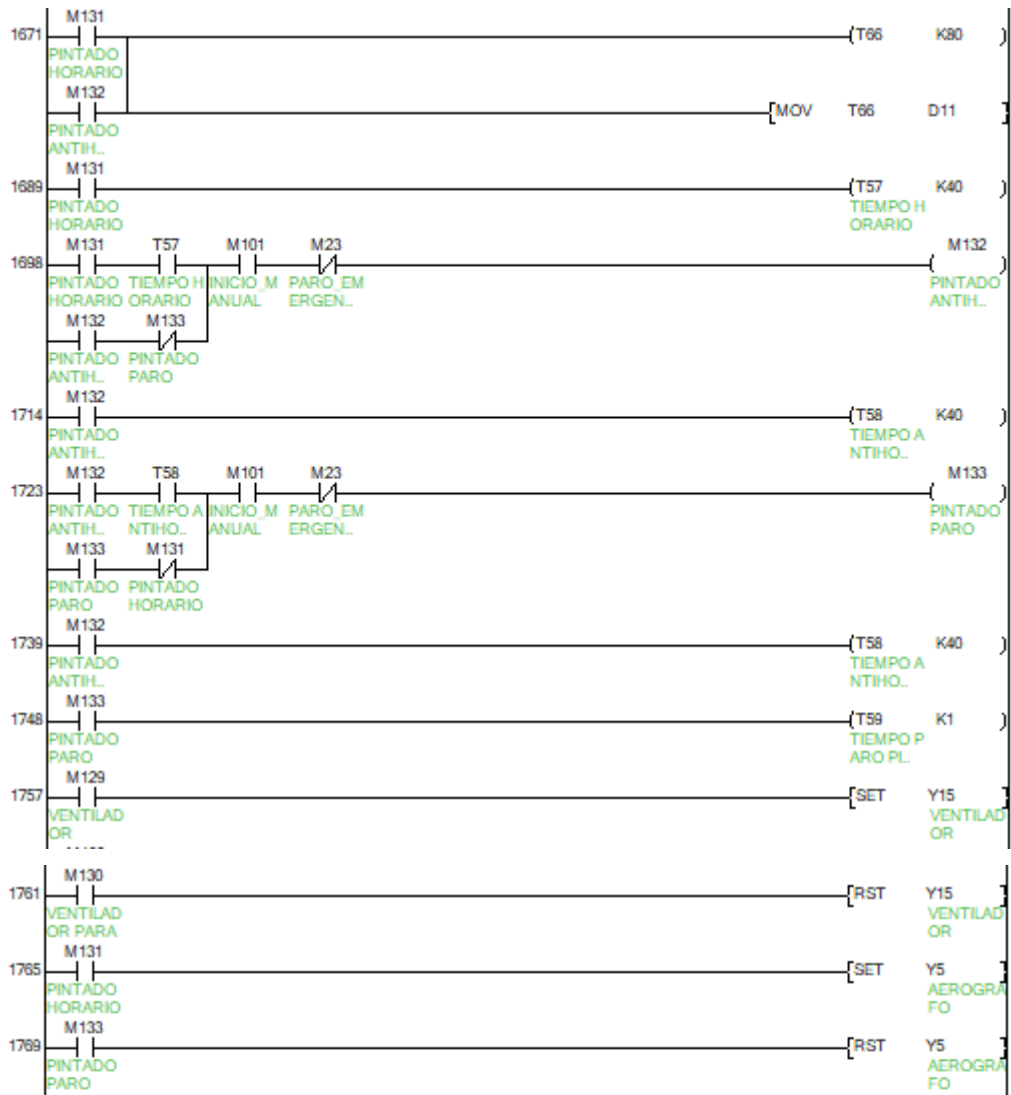
* FUNCIONAMIENTO MANUAL PORTICO



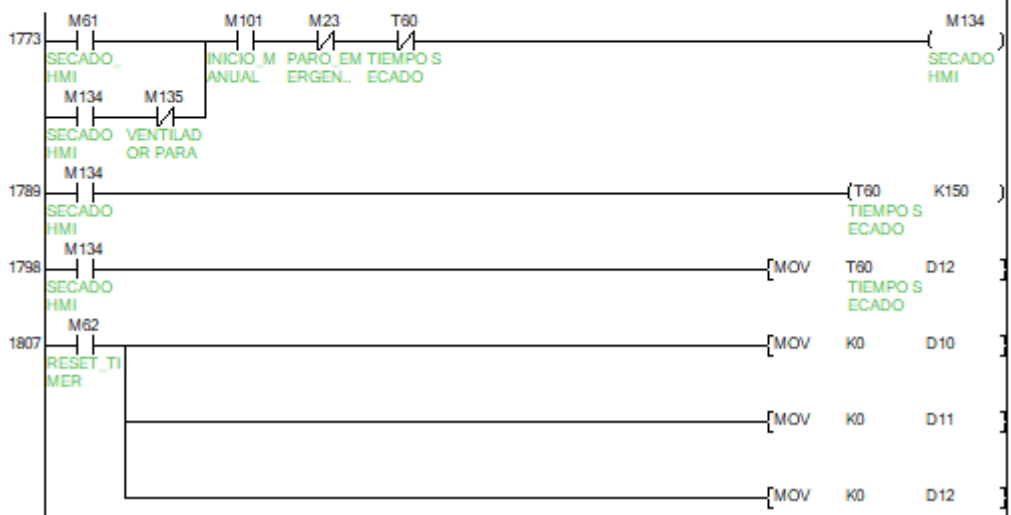


* FUNCIONAMIENTO MANUAL PINTADO

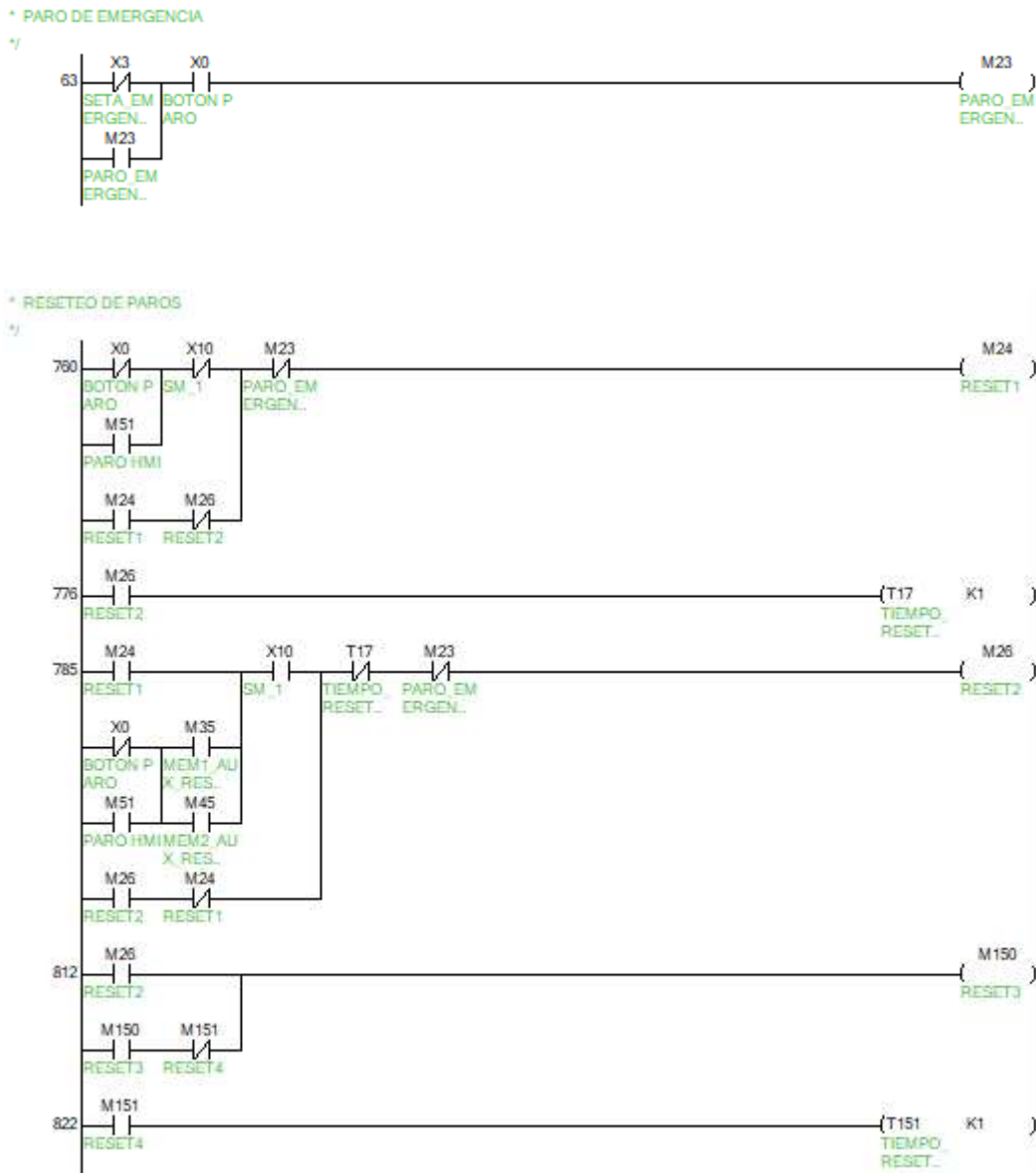


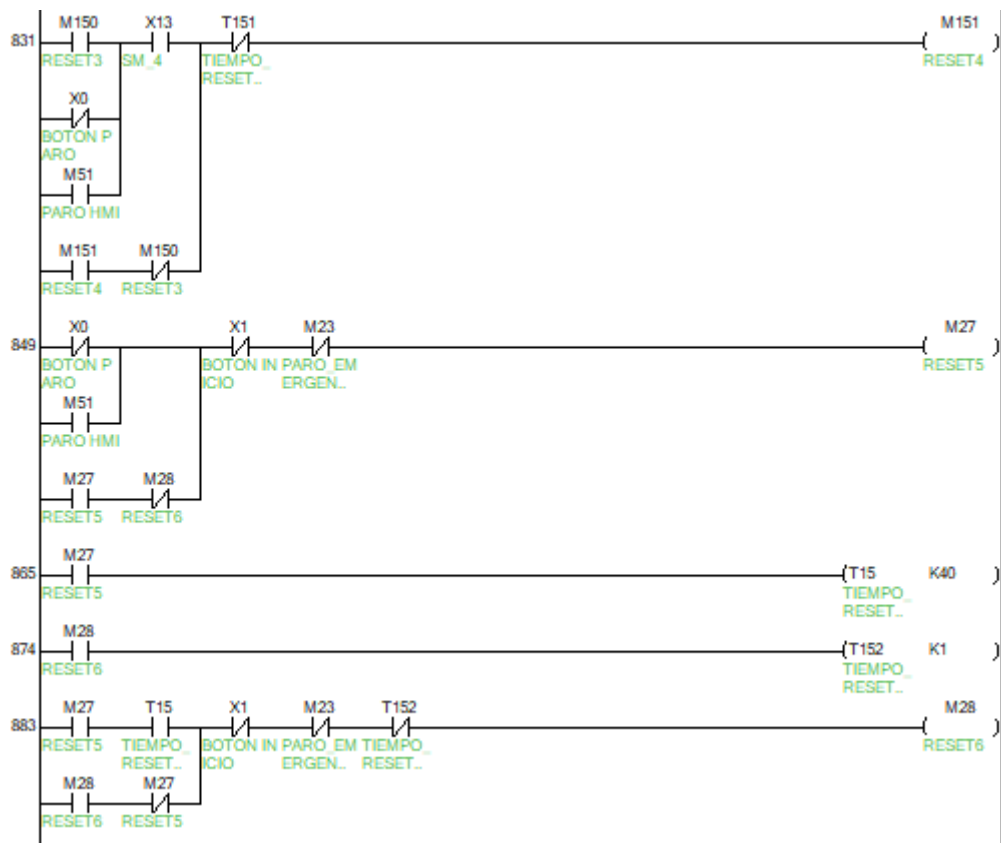


* PROCESO MANUAL SECADO



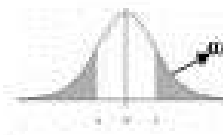
ANEXO C: DIAGRAMA LADDER DEL PARO DE EMERGENCIA Y RESETEO DEL MÓDULO



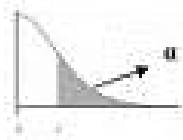


ANEXO D: TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT

Tabla de valores críticos de la distribución t de Student

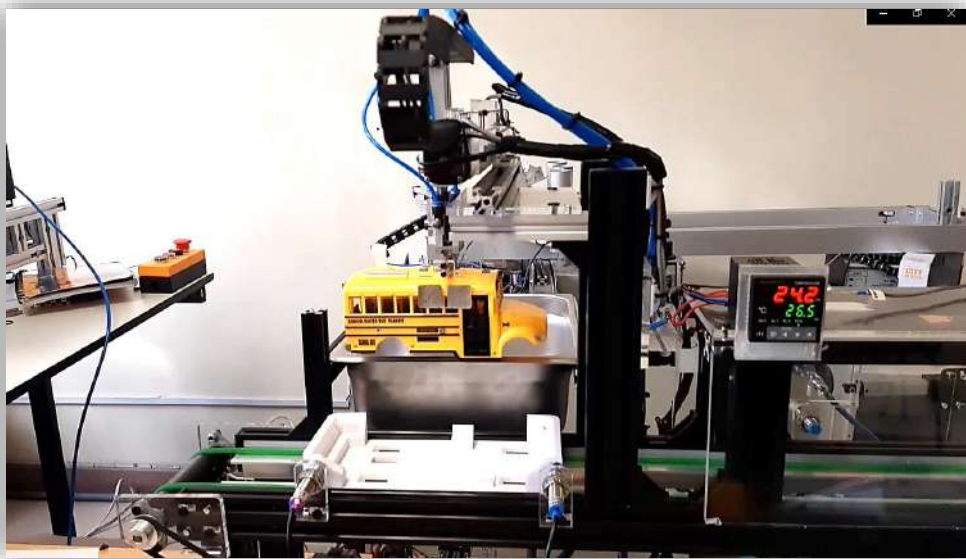
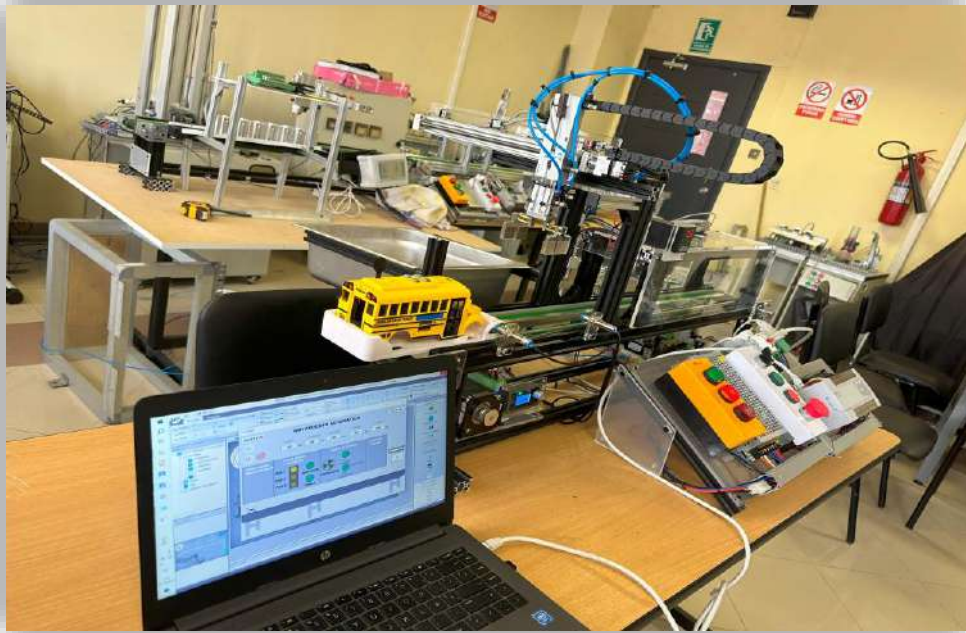


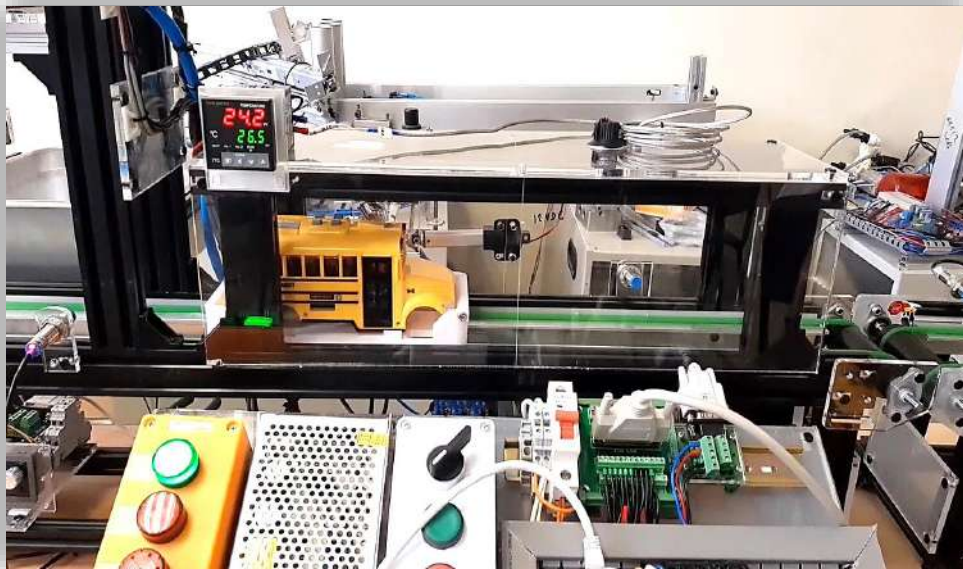
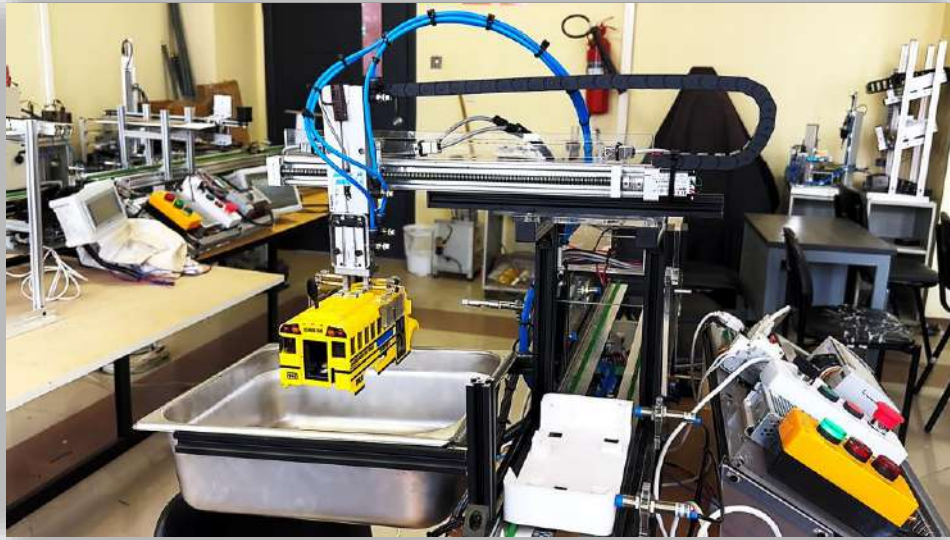
	Niveles de Significancia DOS COLA								
	0.500	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005	0.001	0.0005
1	1.00	2.41	3.08	6.31	12.71	25.45	31.82	63.66	127.32
2	0.82	1.60	1.89	2.92	4.30	6.21	6.96	9.92	14.09
3	0.78	1.42	1.64	2.35	3.18	4.18	4.54	5.84	7.45
4	0.74	1.34	1.53	2.13	2.78	3.50	3.76	4.60	5.60
5	0.73	1.30	1.48	2.02	2.57	3.16	3.36	4.03	4.77
6	0.72	1.27	1.44	1.94	2.45	2.97	3.14	3.71	4.32
7	0.71	1.25	1.41	1.89	2.36	2.84	3.00	3.50	4.03
8	0.71	1.24	1.40	1.86	2.31	2.75	2.90	3.36	3.83
9	0.70	1.23	1.38	1.83	2.26	2.69	2.82	3.25	3.69
10	0.70	1.23	1.37	1.81	2.23	2.63	2.76	3.17	3.58
11	0.70	1.21	1.36	1.80	2.20	2.59	2.72	3.11	3.50
12	0.70	1.21	1.35	1.78	2.18	2.56	2.68	3.05	3.43
13	0.69	1.20	1.35	1.77	2.16	2.53	2.65	3.01	3.37
14	0.69	1.20	1.35	1.76	2.14	2.51	2.62	2.98	3.33
15	0.69	1.20	1.34	1.75	2.13	2.49	2.60	2.95	3.29
16	0.69	1.19	1.34	1.75	2.12	2.47	2.58	2.92	3.25
17	0.69	1.19	1.33	1.74	2.11	2.46	2.57	2.90	3.22
18	0.69	1.19	1.33	1.73	2.10	2.45	2.55	2.88	3.20
19	0.69	1.19	1.33	1.73	2.09	2.43	2.54	2.86	3.17
20	0.69	1.18	1.33	1.72	2.09	2.42	2.53	2.85	3.15
21	0.69	1.18	1.32	1.72	2.08	2.41	2.52	2.83	3.14
22	0.69	1.18	1.32	1.72	2.07	2.41	2.51	2.82	3.12
23	0.69	1.18	1.32	1.71	2.07	2.40	2.50	2.81	3.10
24	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.39	2.49	2.80	3.09
25	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.38	2.49	2.79	3.08
26	0.68	1.18	1.31	1.71	2.06	2.38	2.48	2.78	3.07
27	0.68	1.18	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.77	3.06
28	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.76	3.05
29	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.36	2.46	2.76	3.04
30	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.46	2.75	3.03
31	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.45	2.74	3.02
32	0.68	1.17	1.31	1.69	2.04	2.35	2.45	2.74	3.01
33	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.01
34	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.00
35	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.44	2.72	3.00
36	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
37	0.68	1.17	1.30	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
38	0.68	1.17	1.30	1.69	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
39	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
40	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.42	2.70	2.97

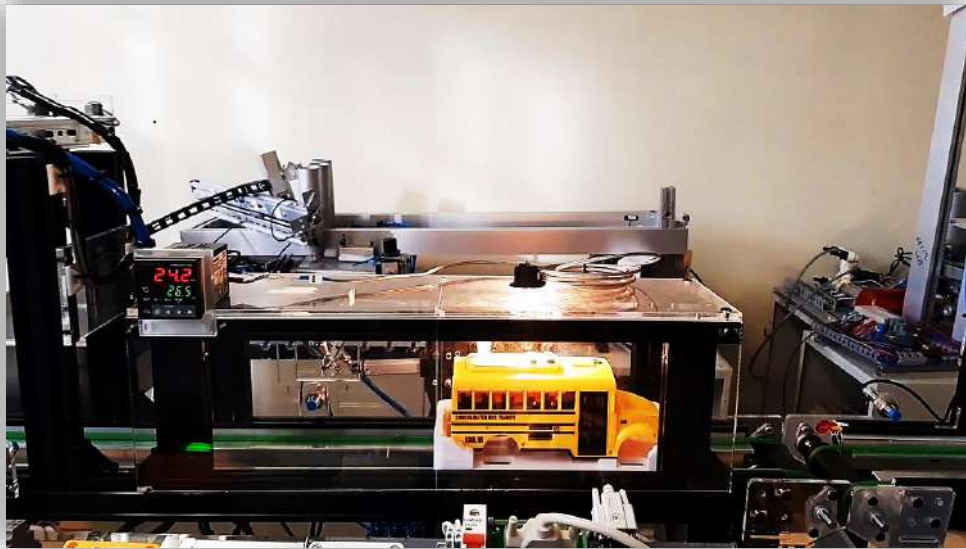


	0.250	0.125	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005	0.001
	Niveles de Significancia UNA COLA							

ANEXO E: EVIDENCIA FOTOGRAFICA.





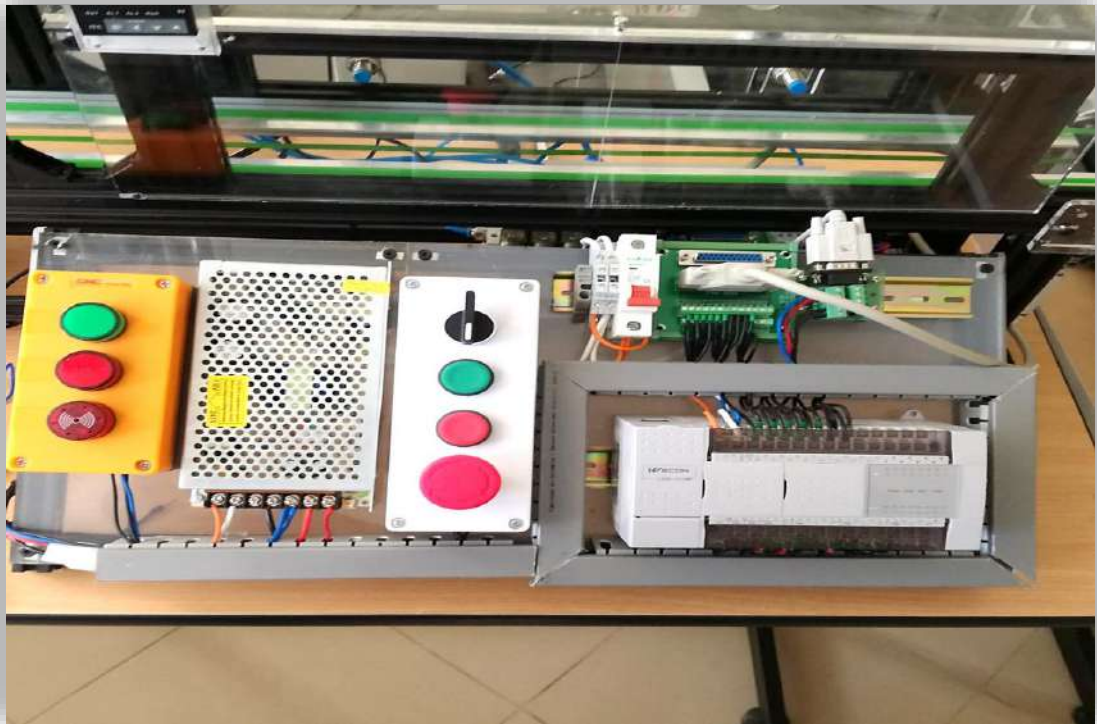


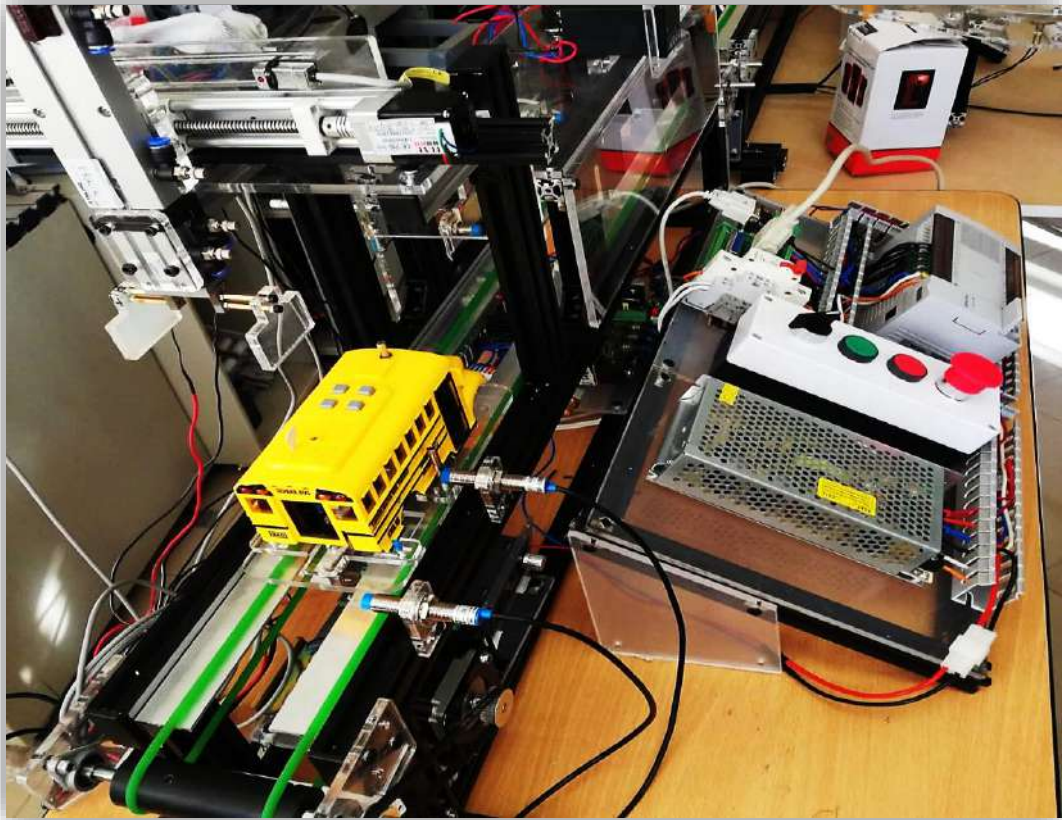
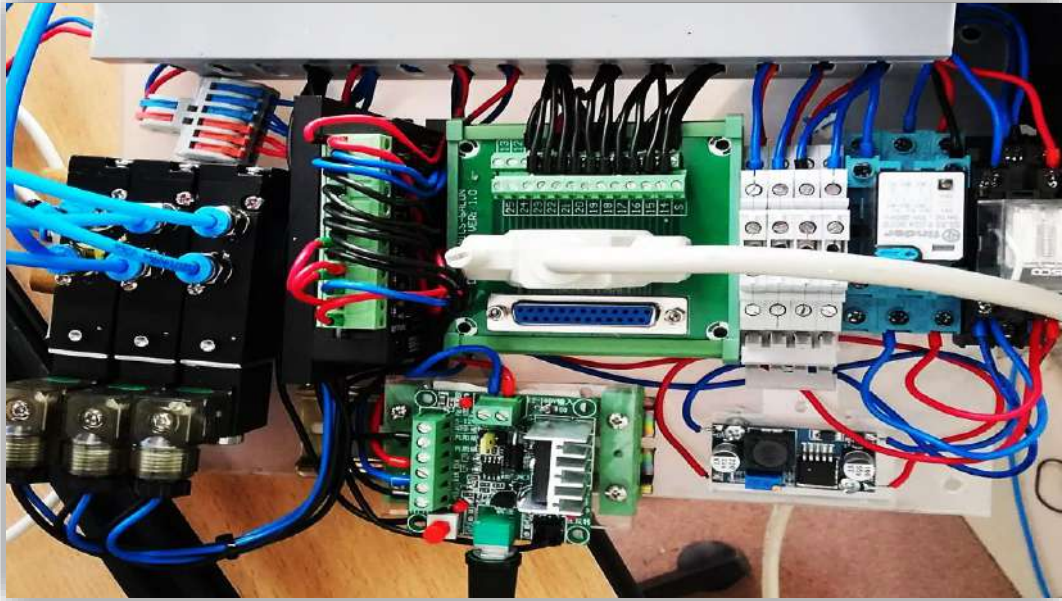
HMI PROCESO AUTOMATICO

2023/10/24 13:02:39

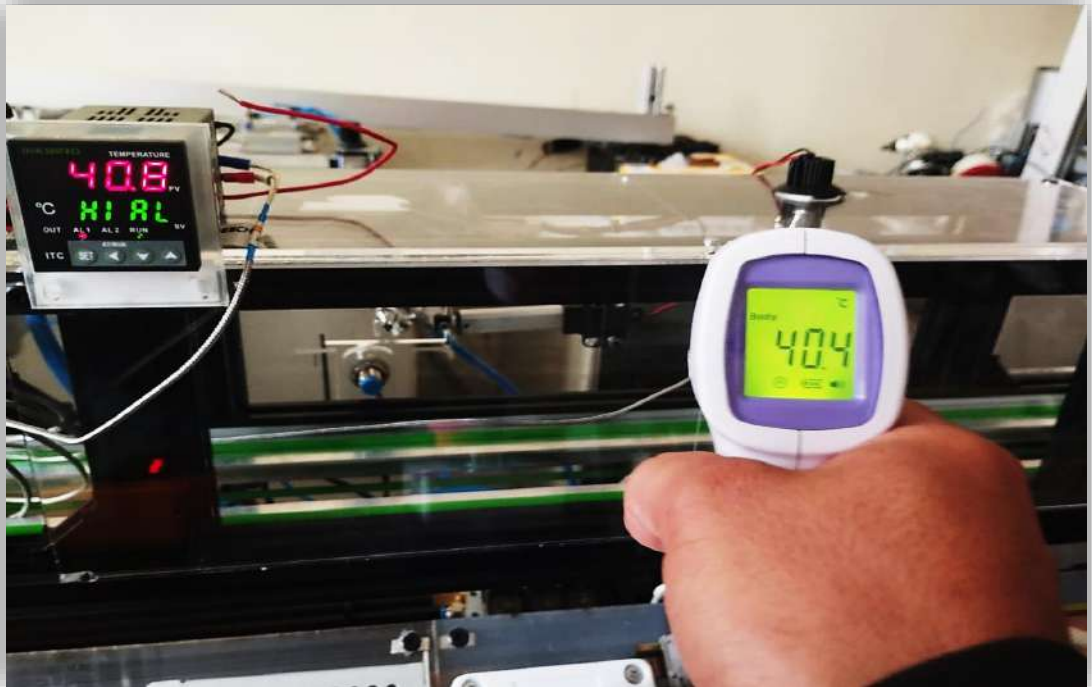
⏻ T. LAVADO T. FOSFATADO T. VENTILADOR T. PINTADO T. SECADO
⏻ 50 .ms 50 .ms 100 .ms 80 .ms 150 .ms

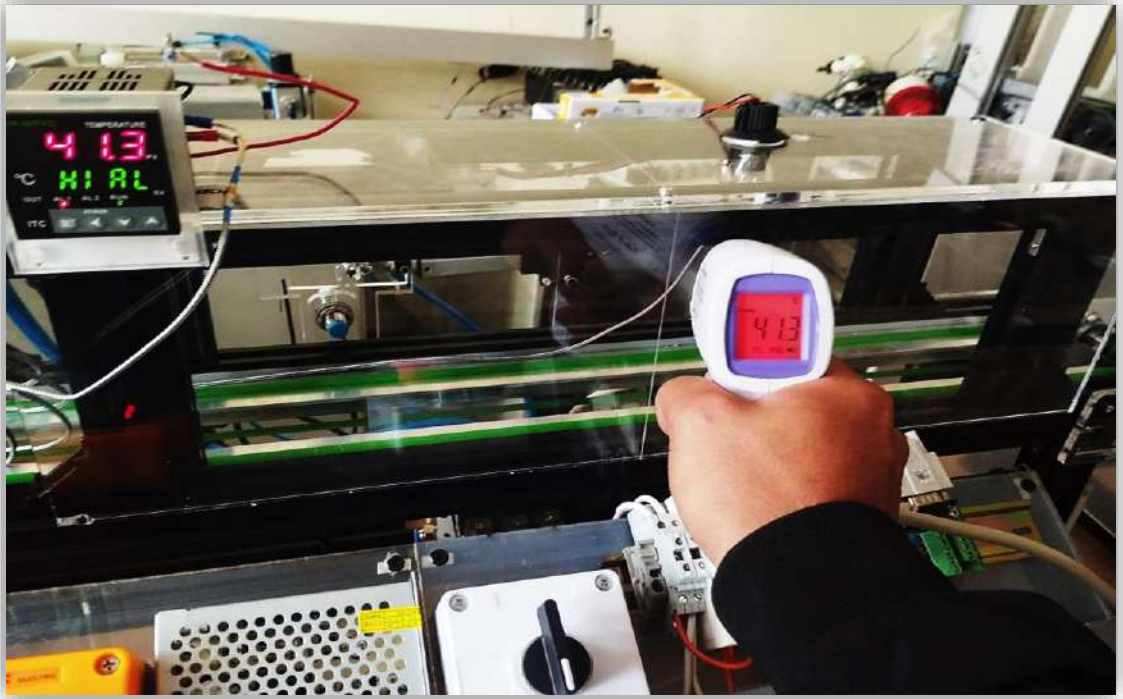
ETAPA BANDA TRANSPORTADOR	ETAPA LAVADO Y FOSFATADO	ETAPA DE PINTADO	ETAPA DE SECADO	N. PRODUCTOS TERMINADOS
	POS 1 ● POS 2 ● POS 3 ● BASTAGO ● PINZA ●	⚙️ VENTILADOR ● GIRO HORARIO ● GIRO ANTIGORARIO AEROGRAFO		4





ANEXO F: EVIDENCIA FOTOGRAFICA DE VALIDACION DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA DEL HORNO DE SECADO.








ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



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

Fecha de entrega: 23/11/2023

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES
Nombres – Apellidos: JIMMY ALDIVAR ALDAZ PARCO EDISON GEOVANNY REMACHE PILATAXI
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Título a optar: INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
E. Analista de Biblioteca responsable:  Ing. Fernanda Arévalo M.

