



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN DE MÁQUINA
DOSIFICADORA DE VISCOSOS CON INTEGRACIÓN DE CONTROL-MONITOREO AL
SISTEMA HMI (INTERFAZ HUMANO MÁQUINA), IMPLEMENTANDO ENCODER VIRTUAL Y
LEVAS VIRTUALES**

Noé Jeremías García Acabal

Asesorado por el Ing. Jorge Gilberto González Padilla

Guatemala, julio de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN DE MÁQUINA
DOSIFICADORA DE VISCOSOS CON INTEGRACIÓN DE CONTROL-MONITOREO AL
SISTEMA HMI (INTERFAZ HUMANO MÁQUINA), IMPLEMENTANDO ENCODER VIRTUAL Y
LEVAS VIRTUALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

NOÉ JEREMÍAS GARCÍA ACABAL
ASESORADO POR EL ING. JORGE GILBERTO GONZÁLEZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELÉCTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Ana María Navarro Orozco
EXAMINADOR	Ing. Brian Enrique Chicol Morales
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN DE MÁQUINA
DOSIFICADORA DE VISCOSOS CON INTEGRACIÓN DE CONTROL-MONITOREO AL
SISTEMA HMI (INTERFAZ HUMANO MÁQUINA), IMPLEMENTANDO ENCODER VIRTUAL Y
LEVAS VIRTUALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 14 de octubre de 2021.



Noé Jeremías García Acabal

Guatemala, 4 de noviembre de 2022

Ingeniero
José Aníbal Silva de los Angeles
Coordinador del Área CC. Básicas y Electrotecnia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

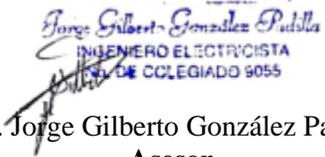
Estimado Ingeniero:

Por este medio me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN DE MÁQUINA DOSIFICADORA DE VISCOSOS CON INTEGRACIÓN DE CONTROL-MONITOREO AL SISTEMA HMI (INTERFAZ HUMANO MÁQUINA), IMPLEMENTANDO ENCODER VIRTUAL Y LEVAS VIRTUALES**, desarrollado por el estudiante **Noé Jeremías García Acabal**, considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


INGENIERO ELECTRICISTA
N.º DE COLEGIADO 9055
Ing. Jorge Gilberto González Padilla
Asesor

REF. EIME 29032023
29 de Marzo de 2023

Señor Director
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

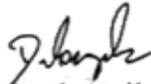
Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **"DISEÑO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN DE MÁQUINA DOSIFICADORA DE VISCOSOS CON INTEGRACIÓN DE CONTROL-MONITOREO AL SISTEMA HMI (INTERFAZ HUMANO MÁQUINA), IMPLEMENTANDO ENCODER VIRTUAL Y LEVAS VIRTUALES"**, del estudiante; Noé Jeremías García Acabal, con número de carnet 2977018941502 y registro académico 201504414, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

JOSE ANIBAL SILVA DE LOS ANGELES
ING ELECTRONICO
COLEGIADO No 5067


Ing. José Anibal Silva de los Angeles
CC. Básicas Y Electrotecnia

REF. EIME 27.2023.

El director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de área, al trabajo de Graduación del estudiante Noé Jeremías García Acabal: **DISEÑO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN DE MÁQUINA DOSIFICADORA DE VISCOSOS CON INTEGRACIÓN DE CONTROL-MONITOREO AL SISTEMA HMI (INTERFAZ HUMANO MÁQUINA), IMPLEMENTANDO ENCODER VIRTUAL Y LEVAS VIRTUALES**, procede a la autorización del mismo.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, 15 de junio de 2023.

LNG.DECANATO.OI.554.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN DE MÁQUINA DOSIFICADORA DE VISCOSOS CON INTEGRACIÓN DE CONTROL-MONITOREO AL SISTEMA HMI (INTERFAZ HUMANO MÁQUINA), IMPLEMENTANDO ENCODER VIRTUAL Y LEVAS VIRTUALES**, presentado por: **Noé Jeremías García Acabal**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO a.i.
Facultad de Ingeniería
★

Guatemala, julio de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi fortaleza, estar en conmigo en todo momento, en todo lugar y regalarme la sabiduría durante el transcurso de mi vida.
Mi padre	Mateo García su apoyo y su amor incondicional, por estar en cada momento difícil de mi vida, aconsejarme e instruirme por el buen camino.
Mi madre	Teresa Barrera por su comprensión, su amor, por estar ahí cuando más necesité de su apoyo y palabras de aliento, por ayudarme a no rendirme, por mostrarme el camino correcto.
A mis hermanas	Por siempre apoyarme en momentos difíciles, por ser ejemplo de esfuerzo y dedicación por no rendirse ante las adversidades de la vida, por ser un ejemplo para mí.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Con especial cariño a mi universidad, por ser centro de gran aprendizaje, sabiduría, por formarme e inculcarme valores, ética y profesionalismo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala

En especial a la Facultad de Ingeniería por mi formación profesional y todo el conocimiento que me permitió adquirir en cada una de sus instalaciones a lo largo de mi estancia.

A mi asesor

Ing. Jorge Gilberto González Padilla por el constante apoyo, seguimiento y colaboración para la finalización de este trabajo de graduación.

A Edgar Ramírez

Por estar ahí durante los momentos difíciles del trayecto de mi formación profesional, por el compañerismo que lo caracteriza y por la constante muestra de solidaridad, que fue motivación para buscar la excelencia en cada uno de los aspectos de mi vida.

A mis amigos

Por brindarme una amistad desinteresada, por el compañerismo que los caracteriza y la motivación brindada durante los cursos del área profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XI
LISTA DE SÍMBOLOS	XIX
GLOSARIO	XXI
RESUMEN.....	XXVII
OBJETIVOS.....	XXIX
INTRODUCCIÓN	XXXI
1. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	1
1.1. Historia de la automatización Industrial	2
1.1.1. Primera Revolución Industrial	2
1.1.2. Segunda Revolución Industrial	4
1.1.3. Tercera Revolución Industrial	5
1.1.4. Cuarta Revolución Industrial.....	6
1.2. Definición.....	7
1.2.1. Áreas de aplicación	8
1.2.2. Ventajas y desventajas	8
1.2.3. Elementos principales.....	10
1.3. Elementos de control.....	10
1.3.1. Definición.....	10
1.4. Autómata programable (PLC).....	11
1.4.1. Definición	11
1.4.2. Aplicaciones.....	11
1.4.3. Arquitectura de PLC	12
1.4.3.1. PLC Compacto	12
1.4.3.2. PLC Modular.....	13

1.4.4.	Estructura externa	14
1.4.4.1.	Fuente de alimentación	14
1.4.4.2.	Módulo de expansión de entrada	15
1.4.4.3.	Módulo de expansión de salida	16
1.4.5.	Estructura Interna	16
1.4.5.1.	Unidad de Procesamiento Central.....	16
1.4.5.2.	Memoria de E/S.....	17
1.4.5.2.1.	Área de memoria CIO ...	17
1.4.5.3.	Memoria de datos.....	18
1.4.5.3.1.	Direccionamiento	18
1.4.5.3.2.	Área de trabajo (W).....	19
1.4.5.3.3.	Área de retención (H)	19
1.4.5.3.4.	Área de memoria EM	20
1.4.5.3.5.	Área de datos (DM)	20
1.4.5.4.	Memoria de programa de usuario	20
1.4.6.	Lenguaje de programación.....	20
1.4.6.1.	LD Diagrama de contactos	22
1.4.6.2.	ST Lenguaje texto estructurado	22
1.4.7.	Protocolo de comunicación	23
1.4.7.1.	Protocolo Ethernet TCP/IP	24
1.4.7.2.	Protocolo EtherCAT	24
1.5.	Amplificador electrónico de servomecanismos	25
1.5.1.	Definición.....	25
1.5.2.	Componentes	26
1.5.2.1.	Autómata	26
1.5.2.2.	Servodrive	26
1.5.2.3.	Servomotor.....	27
1.5.2.4.	Encoder	27
1.5.3.	Principales aplicaciones	28

1.6.	Interfaz Humano Máquina (HMI)	28
1.6.1.	Definición	28
1.6.2.	Campos de aplicación	29
1.6.3.	Funciones principales	30
1.6.3.1.	Supervisión y control	30
1.6.3.2.	Registro de datos.....	30
1.6.3.3.	Gestión de alarmas.....	30
1.7.	Elementos actuadores.....	31
1.7.1.	Actuador neumático.....	31
1.7.2.	Actuador eléctrico	32
1.7.2.1.	Electroválvula	32
1.7.2.2.	Servomotor	33
1.7.2.3.	Relé Electromecánico.....	34
1.7.2.4.	Contactador	34
1.7.2.5.	Guardamotor.....	35
1.7.2.6.	Seccionador.....	35
1.8.	Elementos captadores.....	36
1.8.1.	Definición	36
1.8.2.	Termopar	37
1.8.2.1.	Tipo K	37
1.8.2.2.	Tipo J.....	37
1.8.3.	Sensor Inductivo	38
1.8.4.	Control de temperatura.....	38
1.9.	Máquina dosificadora de viscosos.....	39
1.9.1.	Definición	39
1.9.1.1.	Árbol de levas.....	42
1.9.1.2.	Árbol de levas virtual	42
1.9.2.	Partes de la máquina.....	44
1.9.2.1.	Sellador vertical	44

1.9.2.2.	Sellador horizontal.....	44
1.9.2.3.	Tanque de dosificado	45
1.9.2.4.	Válvula 3/2 dosificador	45
1.9.2.5.	Jalador para arrastre de Film	46
1.9.2.6.	Pistón de dosificado	46
1.9.2.7.	Balancín	47
1.9.2.8.	Freno para Film	47
1.9.2.9.	Fechadora	49
2.	DISEÑO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO ELECTRÓNICO	51
2.1.	Levantamiento.....	51
2.2.	Dimensionamiento de equipo electrónico.....	52
2.2.1.	Control Lógico Programable NX1P2-9024DT1.....	52
2.2.1.1.	Características generales.....	55
2.2.1.2.	Especificaciones eléctricas/mecánicas	56
2.2.1.3.	Especificaciones de rendimiento	56
2.2.1.4.	Protocolo de comunicación	57
2.2.1.5.	Medidas de PLC.....	58
2.2.2.	Módulo NX-PF730.....	58
2.2.2.1.	Características técnicas	59
2.2.2.2.	Medidas.....	59
2.2.3.	Módulo NX-OD4256	60
2.2.3.1.	Características técnicas	61
2.2.3.2.	Medidas de módulo de salida.....	61
2.2.4.	Interfaz humano máquina NB7W-TW01B	62
2.2.4.1.	Características técnicas	64
2.2.4.2.	Protocolo de comunicación	64

	2.2.4.3.	Software de programación.....	65
	2.2.4.4.	Medidas de HMI.....	65
2.2.5.		Switching Hub W4S1-05B	66
	2.2.5.1.	Funcionamiento	66
	2.2.5.2.	Características técnicas.....	66
	2.2.5.3.	Medidas	67
2.2.6.		Servoaccionamiento	68
	2.2.6.1.	Servomotor R88M-1M40030T-S2.....	71
	2.2.6.2.	Características técnicas.....	72
	2.2.6.3.	Medidas	73
	2.2.6.4.	Servodrive R88D-1SN04H-ETC	74
	2.2.6.5.	Características técnicas.....	75
	2.2.6.6.	Protocolo de comunicación.....	75
	2.2.6.7.	Medidas	76
2.2.7.		Control de temperatura E5CC	76
	2.2.7.1.	Funcionamiento	77
	2.2.7.2.	Características técnicas.....	77
	2.2.7.3.	Medidas	78
2.2.8.		Sensores inductivos.....	78
	2.2.8.1.	Características técnicas.....	79
	2.2.8.2.	Medidas	79
2.2.9.		Fuente de alimentación S8VK-G12024	80
	2.2.9.1.	Medidas	81
2.2.10.		Electroválvulas VFR2110R3DY01	81
	2.2.10.1.	Medidas	82
2.3.		Dimensionamiento de equipo eléctrico.....	82
	2.3.1.	Corriente de total de consumo.....	83
	2.3.2.	Equipos de protección	84
	2.3.2.1.	Seccionador.....	84

	2.3.2.1.1.	Medidas.....	84
	2.3.2.2.	<i>Breakers</i> S203-C16.....	85
		2.3.2.2.1.	Medidas..... 86
	2.3.2.3.	Guardamotor MS116-6.3.....	86
		2.3.2.3.1.	Medidas..... 87
	2.3.2.4.	Contactores.....	88
		2.3.2.4.1.	Medidas..... 88
	2.3.2.5.	Relé electromecánico.....	89
		2.3.2.5.1.	Medidas..... 89
	2.3.2.6.	Fuente UPS GXT4-3000RT208.....	90
		2.3.2.6.1.	Dimensionamiento UPS..... 90
		2.3.2.6.2.	Tiempo de duración de UPS..... 91
2.4.		Puesta a tierra de máquina dosificadora.....	92
	2.4.1.	Características necesarias.....	92
	2.4.2.	Valor de resistencia obtenida.....	93
2.5.		Dispositivos de mando y señalización.....	94
	2.5.1.	Botón de <i>Start</i>	94
	2.5.2.	Botón de <i>Stop</i>	94
		2.5.2.1.	Medidas..... 94
	2.5.3.	Botón de paro de emergencia.....	95
		2.5.3.1.	Medidas..... 95
2.6.		Dimensión de panel para sistema de control.....	96
2.7.		Panel de control de electroválvulas.....	99
2.8.		Diagramas del sistema eléctrico.....	100
3.		CONFIGURACIONES PARA <i>SOFTWARE</i> DE PROGRAMACIÓN.....	107
	3.1.	<i>Software</i> Sysmac Studio.....	107

3.1.1.	Crear un nuevo proyecto PLC	108
3.1.2.	Configuración de comunicación.....	109
3.1.3.	Bastidor de expansión/CPU.....	111
3.1.4.	Configuración EtherCAT	113
3.1.5.	Configuración de memorias	115
3.1.6.	Configuración mapa E/S.....	116
3.1.7.	Configuración Motion Control eje físico	117
3.1.7.1.	Configuración básica	118
3.1.7.2.	Conversión de unidades	119
3.1.7.3.	Configuración de operación	120
3.1.8.	Configuración Motion Control eje virtual	121
3.1.8.1.	Configuración básica	123
3.1.8.2.	Conversión de unidades	123
3.1.8.3.	Configuración de operaciones	124
3.1.9.	Configuración para Servodrive	125
3.1.9.1.	Parámetros de configuración.....	125
3.1.9.2.	Transferencia de configuraciones.....	126
3.1.9.3.	Alimentación Servodrive	127
3.1.10.	Transferencia de programa de usuario.....	128
3.2.	<i>Software</i> NB Designer	130
3.2.1.	Crear nuevo proyecto HMI.....	130
3.2.2.	Selección de dispositivo	131
3.2.3.	Transferencia de programa	135
4.	PROGRAMA DE USUARIO	137
4.1.	Funciones básicas utilizadas	137
4.1.1.	Instrucciones lógicas básicas	138
4.1.1.1.	LD(<i>Load</i>) y LDN (<i>Load Not</i>).....	138
4.1.1.2.	AND (Función Y) Contactos serie.....	139

	4.1.1.3.	OR (Función O) Contactos paralelos .	139
	4.1.1.4.	OUT(Salida)	140
	4.1.1.5.	Flanco ascendente y descendente	140
4.1.2.		Instrucciones de programación	141
	4.1.2.1.	Instrucción <i>SET</i> y <i>RSET</i>	141
	4.1.2.2.	Instrucción ZoneCMP	142
	4.1.2.3.	Instrucción EQ(=)	143
	4.1.2.4.	Instrucción TP	144
	4.1.2.5.	Instrucción TON	144
	4.1.2.6.	Instrucción CTU.....	145
	4.1.2.7.	Instrucción ADD (+)	146
	4.1.2.8.	Instrucción MUL (*).....	146
	4.1.2.9.	Instrucción MOVE	147
4.1.3.		Bloques de función Motion Control.....	147
	4.1.3.1.	Instrucción MC_Power	147
	4.1.3.2.	Instrucción MC_Home	148
	4.1.3.3.	Instrucción MC_MoveRelative	149
	4.1.3.4.	Instrucción MC_MoveVelocity	149
	4.1.3.5.	Instrucción MC_SetPosition	150
	4.1.3.6.	Instrucción MC_Stop	151
4.2.		Programación de PLC	151
	4.2.1.	Sección de entradas.....	151
		4.2.1.1. Mapeo de entradas	152
	4.2.2.	Sección modo automático	154
		4.2.2.1. Condiciones de inicio	154
		4.2.2.2. Prueba de calentamiento.....	155
	4.2.3.	Freno film y llenado de tanque	156
		4.2.3.1. Levas de máquina dosificadora.....	157
	4.2.4.	Modo Mecánico	159

4.2.5.	Sección de salidas.....	161
4.2.5.1.	Mapeo de salidas.....	161
4.2.6.	Sección de <i>encoder</i> virtual.....	163
4.2.7.	Sección de datos	164
4.2.8.	Sección de alarmas	164
4.2.9.	Sección de conversión de unidades	165
4.3.	Programación de HMI.....	169
4.3.1.	Ventana de elementos gráficos	169
4.3.1.1.	Bit <i>Switch</i>	170
4.3.1.2.	Bit <i>lamp</i>	171
4.3.1.3.	<i>Text property</i>	172
4.3.1.1.	Bit <i>map</i>	173
4.3.1.2.	Number display.....	174
4.3.1.3.	Number Input.....	175
4.3.1.4.	Function key	177
4.3.2.	Direccionamiento	178
4.3.3.	Pantalla de control principal.....	182
4.3.3.1.	Velocidades	182
4.3.3.1.1.	Ajustes de <i>encoder</i>	183
4.3.3.1.2.	Ajuste Servomotor	184
4.3.3.2.	Levas	186
4.3.3.3.	Ajustes.....	188
4.3.3.3.1.	Modo manual.....	188
4.3.3.3.2.	Modo automático	192
4.3.3.4.	Datos	194
4.3.3.4.1.	Producción.....	194
4.3.3.4.2.	Tobogán de producto .	195
4.3.3.4.3.	Nivel de producto.....	196

CONCLUSIONES..... 197
RECOMENDACIONES 199
REFERENCIAS201

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Máquina de vapor	3
2.	Electricidad y petróleo	4
3.	Robótica y Automatización	5
4.	Industria inteligente	7
5.	Autómata tipo compacto.....	13
6.	Autómata tipo modular	14
7.	Fuente de alimentación	15
8.	Autómata tipo modular	17
9.	Programación en lenguaje Ladder	22
10.	Lenguaje texto estructurado.....	23
11.	Ethernet TCP/IP	24
12.	Sistema de control, Servoaccionamiento	25
13.	Servodrive	27
14.	Interfaz Humano Máquina	29
15.	Actuadores neumáticos.....	32
16.	Bloque de electroválvulas	33
17.	Servomotor AC.....	33
18.	Relé electromecánico.....	34
19.	Contactador eléctrico	35
20.	Seccionador mecánico	36
21.	Termopar.....	37
22.	Sensor Inductivo	38
23.	Control de temperatura	39

24.	Máquina dosificadora de viscosos	41
25.	Árbol de levas mecánico	42
26.	Válvula 3/2 dosificador	45
27.	Jaladores para Film	46
28.	Balancín para Film	47
29.	Freno Film.....	48
30.	Fechadora láser	49
31.	Medidas de NX1P2-9024DT1	58
32.	Módulo de alimentación adicional.....	60
33.	Módulo de salidas digitales.....	62
34.	Medidas de pantalla HMI	65
35.	Conmutador de 5 puertos	67
36.	<i>Software</i> de dimensionamiento.....	69
37.	Velocidad máxima.....	70
38.	Torque máximo.....	71
39.	Servomotores familia 1S.....	72
40.	Medidas servomotor	73
41.	Diagrama de conexión	74
42.	Medidas drive	76
43.	Medias E5CC.....	78
44.	Sensor de tipo inductivo.....	79
45.	Fuente de alimentación.....	81
46.	Electroválvula	82
47.	Seccionador	85
48.	<i>Breaker</i>	86
49.	Guardamotor.....	87
50.	Contactador	88
51.	Relé electromecánico	89
52.	Resistencia a tierra	93

53.	Dispositivo piloto	95
54.	Paro de emergencia	96
55.	Panel de control	98
56.	Panel de control vista lateral	99
57.	Panel de electroválvulas	100
58.	Diagrama eléctrico I	101
59.	Diagrama eléctrico II	102
60.	Diagrama eléctrico III	103
61.	Diagrama eléctrico IV	104
62.	Diagrama eléctrico V	105
63.	Diagrama eléctrico VI	106
64.	Sysmac Studio series NJ/NX	108
65.	Nuevo proyecto	109
66.	Configuración de comunicación	110
67.	Bastidor de CPU	111
68.	Módulo de alimentación NXPF-0730	112
69.	Módulo de expansión de salida	113
70.	Configuración EtherCAT	114
71.	Dirección de nodo EtherCAT	114
72.	Áreas de memoria	115
73.	Mapa de entradas y salidas	116
74.	Añadir servomotor físico	117
75.	Configuraciones básicas	118
76.	Conversión de unidades	120
77.	Configuración de operación	121
78.	Añadir eje virtual	122
79.	Renombrar eje creado	122
80.	Eje virtual	123
81.	Conversión de unidades	124

82.	Configuración de operaciones	125
83.	Parámetros servodrive	126
84.	Transferencia de parámetros	127
85.	Conexión de servodrive	128
86.	Transferencia de programa.....	129
87.	Transferencia al controlador	129
88.	FNB-Designer	130
89.	Nuevo proyecto HMI	131
90.	Selección de HMI.....	132
91.	Selección de PLC	132
92.	Ajustes de comunicación HMI.....	133
93.	Ajustes de configuración PLC	134
94.	Comunicación HMI y PLC.....	134
95.	Configuración de comunicación.....	135
96.	Transferencia hacia HMI.....	136
97.	LD contacto normalmente abierto.....	138
98.	LDN contacto normalmente cerrado	139
99.	Función Y.....	139
100.	Función O	140
101.	Salida	140
102.	Flanco ascendente y descendente	141
103.	Función SET-RESET	142
104.	Leva virtual-sellador horizontal	143
105.	Instrucción EQ	143
106.	Instrucción TP	144
107.	Instrucción TON.....	145
108.	Contador ascendente CTU	145
109.	Instrucción ADD(+)	146
110.	Instrucción MUL (*)	146

111.	Instrucción MOVE	147
112.	Instrucción MC_Power	148
113.	Instrucción MC_Home.....	148
114.	Instrucción MC_MoveRelative.....	149
115.	Instrucción MC_MoveVelocity	150
116.	Instrucción MC_SetPosition	150
117.	Instrucción MC_Stop	151
118.	Sección de entradas.....	153
119.	Condiciones iniciales.....	155
120.	Prueba de calentamiento	156
121.	Freno de film y llenado de tanque	157
122.	Levas virtuales I	158
123.	Levas virtuales II	159
124.	Modo mecánico.....	160
125.	Mapeo de salidas físicas.....	162
126.	Configuración de enconder	163
127.	Sección de datos.....	164
128.	Alarmas	165
129.	Conversión de entero a real I.....	166
130.	Conversión de entero a real II	167
131.	Conversión de entero a real III	168
132.	Ventana de elementos gráficos.....	169
133.	Interruptor de bits	170
134.	Configuraciones de interruptor	171
135.	Bit <i>lamp</i>	171
136.	Configuración Bit <i>lamp</i>	172
137.	Texto de pantalla.....	173
138.	Bit <i>map</i>	174
139.	Display numérico.....	174

140.	Configuración <i>display</i> numérico.....	175
141.	Entrada numérica.....	176
142.	Configuración entrada numérica.....	177
143.	Tecla de funciones.....	177
144.	Configuración de tecla de funciones.....	178
145.	Control principal.....	182
146.	Velocidad principal de la máquina.....	184
147.	Velocidad de arrastre para film.....	186
148.	Rango de levas I.....	187
149.	Rango de levas II.....	187
150.	Configuración de ajustes.....	188
151.	Modo de pruebas I.....	189
152.	Modo de pruebas II.....	190
153.	Modo de pruebas III.....	190
154.	Modo de pruebas IV.....	191
155.	Cambio de bobina de <i>Film</i>	191
156.	Modo automático I.....	192
157.	Modo automático II.....	193
158.	Modo automático III.....	193
159.	Modo automático IV.....	194
160.	Producción.....	195
161.	Tobogán de producto.....	195
162.	Nivel de producto.....	196

TABLAS

I.	Tipos de áreas de memoria y rangos.....	19
II.	Dispositivos de entrada PLC.....	52
III.	Dispositivos de salida.....	53

IV.	CPU serie NX1P2.....	54
V.	Tipos de memorias disponibles.....	57
VI.	Consumo en corriente DC.....	80
VII.	Corriente total.....	83
VIII.	Medidas del panel de control	97
IX.	Mapeo de entradas físicas	152
X.	Mapeo de salidas	161
XI.	Variables con direcciones tipo W	179
XII.	Variables con direcciones tipo D	180
XIII.	Variables con direcciones tipo H	180

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
AC	Corriente alterna
AWG	Calibre de alambre americano (<i>American Wire Gauge</i>)
°C	Grado centígrado
DC	Corriente directa
E/S	Entradas y salidas
g	Gramos
Hz	Hertz
In	Pulgadas
kV	Kilovoltio
Kg	Kilogramo
Lbf	Libra-fuerza
m	Metro
mA	Miliamperio
Máx.	Máximo
Mbps	Megabits por segundo
Min.	Mínimo
MΩ	Mega ohm
mm	Milímetro
mm/s	Milímetros por segundo
ms	Milisegundo
m/s²	Metros por segundo cuadrado
N.C	Normalmente cerrado

N · m	Newton metro
N.O.	Normalmente abierto
ns	Nanosegundo
Ω	Ohmio
%	Porcentaje
PS	Fuente de alimentación del inglés Power Supply
rev.	Revolución
s/empaque	Segundo por empaque
V	Volt
VAC	Voltaje corriente alterna
VDC	Voltaje corriente directa

GLOSARIO

<i>Backlight</i>	Luz de fondo utilizada en las pantallas de tipo cristal líquido LCD.
Bit	Es un dígito binario con posibilidad de valor 0 que indica apagado o 1 que indica encendido.
Bobina	Elemento eléctrico pasivo que se encarga de almacenar energía en forma de campo magnético.
Campo magnético	Perturbación generada en el espacio como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas en un conducto.
Canal	Conjunto de 16 bits, que pueden ser procesados de manera individual o conjunta.
Ciclo	Una secuencia de pasos que se repiten de manera continua a lo largo de un proceso.
Codificar	Se trata de transformar un determinado tipo de información a otra, para transmitirla de una manera más fácil y rápida.
Cortocircuito	Fallo que se produce cuando dos conductores con distintas polaridades entran en contacto directo.

CPU	Unidad de procesamiento central.
Decodificar	Es transformar un mensaje que ha sido recibido a un mensaje que pueda ser entendido por el receptor.
Dirección IP	Es la dirección única dada a un dispositivo dentro de una red de área local.
<i>Display</i>	Es un dispositivo electrónico similar a una pantalla que muestra información de manera visual.
Dosificar	Es el proceso de verter determinado material líquido o sólido a un determinado recipiente o empaque.
Electroimán	Es un imán creado por un solenoide, el cual se alimenta de corriente directa o alterna.
<i>Encoder</i>	Es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica de movimiento rotatorio en señal de pulsos digitales.
Fase	Se denomina como la línea o conductor que transporta la corriente eléctrica.
Ferroso	Término utilizado para indicar que un material es de tipo metálico.
<i>Hardware</i>	Es toda la parte física palpable de un dispositivo electrónico o eléctrico.

HMI	Interfaz Humano Máquina.
<i>Inrush</i>	Es denominada como corriente transitoria se presenta al inicio, cuando un dispositivo es energizado.
Interfaz	Es una forma de comunicación utilizada para la transmisión/recepción de datos entre dispositivos o dispositivos y humanos.
IP20	Grado de protección que ofrece un equipo únicamente contra objetos sólidos de tamaño mayor a 12 mm.
IP60	Grado de protección que ofrece un equipo contra polvo.
IP65	Grado de protección que ofrece un equipo contra el polvo y contra chorros de agua.
IP67	Grado de protección que ofrece un equipo contra el polvo y la inmersión completa en agua.
Job motor	Es la prueba realizada a un motor para verificar que su funcionamiento sea el adecuado.
LAN	Red de área local.
Led	Es un diodo emisor de luz.
Leva	Pieza mecánica que cumple la función de transformar un movimiento circular a un movimiento de tipo lineal.

Línea de producción	Conjunto de operaciones secuenciales realizadas para producción de determinado producto.
Materia prima	Es la materia utilizada como base para la creación de un determinado producto.
Microcontrolador	Es un circuito electrónico integrado con capacidad de ser reprogramado.
Monofásico	Es la corriente eléctrica que se da en dos conductores eléctricos, uno denominado como fase y otro como neutro.
Motion Control	Concepto de control de movimiento utilizado en automatización industrial.
Motor	Es un dispositivo eléctrico con capacidad de convertir energía eléctrica en movimiento mecánico.
Neumática	Es la rama de la mecánica encargada del estudio del aire a determinadas presiones de trabajo.
Parámetro	Es un valor numérico utilizado como condición para el funcionamiento de un dispositivo.
PID	Algoritmo de control que utiliza cálculo matemático proporcional, integral y derivativo para corrección de errores en un sistema de control.
PLC	Control Lógico Programable.

Potencia	Es el ritmo por medio del cual se transfiere energía eléctrica a un circuito medida en watt segundo.
Proceso	Es una secuencia de pasos necesarios para convertir materia prima en un producto de consumo final.
Producción	Es el proceso de fabricación de un producto de forma continua.
Retroalimentación	Es utilizar información de dispositivos de salida del proceso que se realiza para mantener el control de un proceso industrial.
RJ45	Es el tipo de conector utilizado por los protocolos de comunicación Ethernet y EtherCAT para la transmisión de datos.
Robótica	Ciencia que combina el uso de dispositivos mecánicos con dispositivos electrónicos para generar movimiento altamente preciso.
RPM	Rapidez por minuto.
RS232	Protocolo de intercambio de dato de tipo binario en serie por medio de un conector BD9
Señal analógica	Señal obtenida de transductores variables en el tiempo.

Señal digital	Es el tipo de señal que únicamente genera valores de tipo discreto en un rango determinado de tiempo.
Sistema de control	Conjunto de elementos que trabajan de manera coordinada para dirigir y regular el comportamiento de todos sus dispositivos de salida de un proceso.
Sobrecarga	Es el exceso en el consumo de energía por parte de un dispositivo eléctrico, electrónico o incluso un circuito eléctrico.
Software	Es un conjunto de programas de computadora diseñados para el objetivo de llevar a cabo tareas específicas.
Trifásico	Sistema eléctrico que está conformado por 3 fases que se desfasan entre sí 120 grados, estas 3 fases se caracterizan por poseer la misma frecuencia y magnitud.
Viscoso	Es el tipo de material caracterizado por poseer propiedades adhesivas o pegajosas.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación describe la solución al diseño de tablero eléctrico, dimensionamiento de equipo electrónico, configuración de equipo electrónico, diseño de mandos de control y programación para la automatización de máquina dosificadora de viscosos. Durante cada capítulo se desarrollan conceptos sobre el proceso de automatización de la máquina dosificadora con la finalidad de conocer de manera clara su funcionamiento.

Posterior al análisis de funcionamiento se determinan las características principales de cada elemento del sistema de control de la máquina dosificadora procediendo al dimensionamiento de su instalación eléctrica, equipos electrónicos, configuraciones necesarias para desarrollo de programación del Controlador Lógico Programable (PLC), descripción del protocolo de comunicación de cada dispositivo electrónico y diseño de mandos de control de la Interfaz Humano Máquina (HMI) necesarios para mantener la comunicación con la máquina en cada instante de proceso.

Dentro de la programación se implementa el concepto de virtualización de *encoder* y levas con la finalidad de mejorar la eficiencia del proceso de dosificado/empacado del producto, teniendo la posibilidad de corregir o modificar en tiempo real cada uno de los parámetros de funcionamiento sin afectar la cadena productiva, mejorando la calidad del producto en el proceso.

OBJETIVOS

General

Diseñar el sistema de control para automatización de máquina dosificadora que permita el correcto dosificado y empaclado de productos viscosos alimenticios.

Específicos

1. Explicar conceptos básicos sobre la automatización y control industrial.
2. Determinar el funcionamiento los elementos del sistema de control de una máquina dosificadora.
3. Diseñar el sistema eléctrico de la Maquina Dosificadora.
4. Desarrollar la programación para el Control Lógico Programable (PLC) utilizando el lenguaje de programación gráfico estandarizado Ladder.
5. Diseñar los mandos de control de Interfaz Humano Máquina HMI para control y corrección de parámetros.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la automatización industrial ha generado un impacto positivo logrando importantes avances dentro de la industria, obligando a cambiar las operaciones manuales u operaciones consideradas como lentas u obsoletas a operaciones donde se hace uso de equipo electrónico de última línea, logrando mayor eficiencia, aumento en la producción y reducción de costos.

Se requiere automatizar una máquina dosificadora de viscosos alimenticios, actualmente esta máquina no cuenta con ningún tipo de sistema de control que asegure su funcionamiento, por lo cual corresponde diseñar el sistema eléctrico, diseñar los mandos de control y dimensionar equipos necesarios para su posterior puesta en marcha.

En el Capítulo 1 se desarrollan conceptos fundamentales sobre la historia, componentes principales y avance de la automatización dentro de la industria, se definen cada uno de los elementos que conforman sistema de control de la máquina dosificadora para posteriormente comprender su funcionamiento en conjunto, los conceptos están basados en los componentes utilizados para el desarrollo del proyecto.

En el capítulo 2 se detalla el proceso de diseño del sistema eléctrico y el dimensionamiento de cada equipo electrónico, se hace un análisis de las especificaciones con base a la hoja de datos proporcionada por el fabricante, se analiza la elección de cada equipo utilizado en el accionamiento de los mecanismos de la máquina dosificadora de viscosos alimenticios.

En el capítulo 3 se describen las configuraciones para la comunicación de cada uno de los equipos electrónicos.

En el capítulo 4 se presenta el desarrollo de la programación en lenguaje gráfico estandarizado Ladder en *software* Sysmac Studio y desarrollo del diseño de pantalla de la HMI con el *software* de diseño NB-Designer.

1. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

En la actualidad el constante aumento y desarrollo en la tecnología ha generado un impacto positivo no solo en nuestra vida cotidiana sino también dentro de la industria, debido a que, en la búsqueda de la excelencia, mejora e innovación continua el sector industrial ha optado por implementar equipo electrónico de última línea, desencadenando una serie de cambios, principalmente en el proceso de transformación de la materia prima en producto para el consumo final.

La innovación continua hoy en día ya no debe ser considerada como una opción, sino como una necesidad dentro de la industria, una empresa que no aplica este concepto pone en riesgo su estabilidad destinando su futuro al fracaso. La automatización industrial ha venido a suplir la necesidad de constante mejora e innovación, tomando procesos industriales considerados como lentos u obsoletos para transformarlos en procesos de alta velocidad y precisión.

La automatización ha venido a revolucionar los procesos de transformación de la materia prima en producto final, en la mayor parte de casos se transforma procesos que son realizados de manera manual a manera automática, obteniendo como beneficio de la implementación de la nueva tecnología un aumento en la calidad del producto, reducción de errores en producción, óptimo uso de materia prima y mayor confiabilidad haciendo posible la supervisión o corrección de desperfectos en tiempo real evitando interrupciones en la cadena productiva.

La automatización Industrial genera aumento en la eficiencia de procesos, reduce costos utilizando adecuadamente la materia prima, evita desperdicios innecesarios, incrementa la productividad, abastece la creciente demanda sin dejar a un lado el mantener precios que sean altamente competitivos lo cual beneficia a la industria manteniéndola a la vanguardia.

1.1. Historia de la automatización Industrial

A lo largo de la historia el ser humano se ha caracterizado por una profunda necesidad de satisfacción de curiosidad, utilizando esta herramienta a su favor no solo para el descubrimiento de nuevo conocimiento si no para aplicarlo en la vida cotidiana, mejorando procesos existentes, convirtiendo actividades que requieren de mucho esfuerzo a actividades de menor esfuerzo, naciendo de esta manera una constante preocupación por dar mejor solución de funcionamiento a lo ya existente convirtiéndolo en eficiente y productivo.

Para entender la manera en la cual ha ido evolucionando la automatización debemos conocer los antecedentes que le han precedido hasta llegar a lo que hoy en día conocemos, con el objetivo de dimensionar el impacto que ha causado y el futuro que le espera.

1.1.1. Primera Revolución Industrial

Fue un proceso de desarrollo revolucionario para la humanidad, teniendo sus inicios en Europa, específicamente en el país de Inglaterra para posteriormente extenderse a Estados Unidos y otras partes del mundo, este proceso convirtió el sistema rural de producción manual a un sistema de producción industrial en las ciudades durante la segunda mitad del siglo XVIII con el surgimiento del capitalismo.

Desde el periodo Neolítico hasta la mitad del siglo XVIII la humanidad no había experimentado cambio alguno en cuanto a la economía y productividad.

Uno de los primeros avances tecnológicos registrados fue la máquina de vapor que transformaba la energía térmica del vapor de agua en energía mecánica, inventada por James Watt, a raíz de este descubrimiento tecnológico se desarrollaron aplicaciones entre las que destaca el martillo de forja usado en la minería y el primer ferrocarril movido por vapor.

El desarrollo de aplicaciones basadas en la máquina de vapor ocasionó un asombroso cambio en la economía, aumento en la producción, disminución de tiempos de fabricación, abriendo paso a la producción en serie, simplificando tareas complejas a operaciones sencillas que no requerían de mano de obra calificada, disminuyendo con ello la de mano de obra especializada, generando baja en costos de producción.

Figura 1. **Máquina de vapor**



Fuente: Historia Universal (2014). *La Revolución Industrial*. Consultado el 5 de enero de 2022.
Recuperado de <https://mihistoriauniversal.com/edad-contemporanea/revolucion-industrial>.

1.1.2. Segunda Revolución Industrial

Este periodo surge como consecuencia de la Primera Revolución Industrial con un remarcado desarrollo tecnológico encabezado por el avance técnico científico que a partir de ese momento fue el pilar para el avance tecnológico producido a mediados del siglo XIX y a mediados XX.

En este periodo surge el descubrimiento de nuevas fuentes de energía como la electricidad y el petróleo que posteriormente serían consideradas como las fuentes de energía principales debido a su alta eficiencia en comparación con la máquina de vapor de esa época, mecanizando todo proceso que hasta entonces requería de la intervención de la fuerza humana

El descubrimiento de la electricidad permitió reducción importante en cuanto a costos energéticos, siendo la razón principal de nuevos procesos de fabricación de Metalurgia y Electroquímica dando origen a nuevas aleaciones de materiales como sodio, el aluminio.

Figura 2. **Electricidad y petróleo**



Fuente: Historia cultural (2010). *Segunda Revolución Industrial*. Consultado el 5 de enero de 2022. Recuperado de <https://www.historiacultural.com/2010/07/segunda-revolucion-industrial.html>.

1.1.3. Tercera Revolución Industrial

Este proceso revolucionario fue desarrollado a mediados del siglo XX por Estados Unidos, la Unión Europea y Japón, conocida como la revolución científica-tecnológica, esta revolución dio pasos agigantados abriendo paso a las tecnologías de la información, robótica e internet de las cosas.

Con el avance desarrollo y evolución de la tecnología de la información se da origen al primer Controlador Lógico Programable (PLC) denominado Modicon, creado por un grupo de ingeniero jóvenes entusiastas de una organización llamada Bedfor Associates, controlador que posteriormente sería vendido a la compañía francesa Scheider Electric.

Este invento innovador es considerado como el precursor de la tercera revolución industrial produciendo transformaciones en el proceso de producción. En la actualidad el PLC controla el sector industrial, debido a su gran versatilidad y ventaja para controlar procesos dentro de una línea de producción o sistema industrial.

Figura 3. **Robótica y Automatización**



Fuente: Economipedia (2016). *Tercera Revolución Industrial*. Consultado el 5 de enero de 2022.
Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/tercera-revolucion-industrial.html>.

1.1.4. Cuarta Revolución Industrial

Conocida con el nombre de industria 4.0, basada en el avance del desarrollo de la informática, tiene como principal objetivo convertir a la industria del siglo actual a un sistema de información virtualizado, unificando la información de todo proceso realizado para tener un control avanzado de la línea de producción.

Durante la primera revolución industrial fue la máquina de vapor que cambio de manera trascendental la forma de producción conocida hasta ese entonces, la segunda revolución abrió paso al desarrollo de nueva tecnología creando nuevas formas de producción con el descubrimiento de la electricidad, posteriormente la tercera revolución industrial provocó grandes cambios a través del descubrimiento e invención del primer PLC, la cuarta revolución industrial viene a cambiar por completo la forma en que los humanos socializan, trabajan y se relacionan, en esta oportunidad será el mundo digital quien estará a cargo de la cuarta revolución industrial.

Esta revolución consiste en la introducción de sensores dentro de la fábrica, implementación de sistemas de información que puedan desencadenar procesos mucho más eficientes, ofrece adaptación a la demanda, un servicio personalizado, todo esto con el objetivo de producir, diseñar y vender más producto en el menor tiempo posible, tomando como puntos clave para este desarrollo el análisis de datos, el Cloud computing, el Big data, Ciberseguridad, Robótica, Internet de las cosas, la realidad aumentada e integración de cada uno de los procesos de producción para un control más sofisticado.

El principal reto que esta revolución tecnológica presenta es el poder integrar, adaptar y unificar cada proceso en un solo sistema para convertir a la industria que conocemos en una industria avanzada e inteligente.

Figura 4. **Industria inteligente**



Fuente: GEINFOR (2018). *Cuarta Revolución Industrial*. Consultado el 1 de febrero de 2022.
Recuperado de <https://geinfor.com/blog/industria-40/>.

1.2. Definición

Es un sistema de control conformado por un grupo de elementos eléctricos, mecánicos y electrónicos que trabajan en conjunto, llevando a cabo un proceso de fabricación específico, utilizando la materia prima de manera adecuada logrando una reducción en costos, una mayor productividad, limitando a su vez la labor humana a supervisión de operaciones por medio de un panel de control o Interfaz Humano Máquina (HMI).

La transformación de la industria se ha desarrollado en un entorno inmerso en un constante cambio e implementación de tecnología de última línea, logrando el control de infinidad de procesos industriales, cambiando los medios de producción tradicionales considerados como lentos u obsoletos a medios de producción mucho más flexibles, eficientes y capaces de adaptarse al constante crecimiento en la demanda de producto.

Para la automatización de un proceso es necesario hacer uso de diversos elementos eléctricos, mecánicos y electrónicos cada uno con un funcionamiento específico, existen muchos elementos utilizados en automatización, cada elemento se elige según el proceso que se desea innovar o desarrollar.

1.2.1. Áreas de aplicación

La automatización cumple un papel primordial dentro de la industria en todo proceso de fabricación a lo largo de una línea de producción. Dentro de la industria se encuentran diversas áreas que han evolucionado logrando un alto grado de precisión, las áreas más destacadas son siguientes:

- Industria Automotriz
- Industria Manufacturera
- Industria Química
- Industria Minera
- Industria Alimentaria
- Industria Agrícola
- Industria Electrónica

1.2.2. Ventajas y desventajas

La automatización de procesos dentro de la industria se ha vuelto uno de los principales objetivos en la búsqueda de la competitividad e innovación. A medida que aumenta la demanda, las empresas han optado por adquirir máquinas automáticas o incorporar dispositivos que sean de fácil programación e implementación.

Existen muchos beneficios derivados de la automatización de un proceso, entre las principales ventajas de automatizar un proceso se encuentran las siguientes:

- Reducción de costos en fabricación
- Aumento en la productividad
- Mejora en calidad y acabado de productos
- Reducción en tiempos de fabricación
- Aumento en seguridad y reducción de esfuerzos físicos
- Uso correcto de materia prima

Aplicar una mejora dentro de una línea de producción o proceso se ha vuelto una necesidad dentro de la industria, automatizar representa sinónimo de innovación e inversión.

Las desventajas se presentan al inicio durante la fase de planificación del proyecto, esta comprende desde la identificación de la necesidad o problema hasta el diseño final y puesta en marcha.

Entre las principales desventajas se identifican las siguientes:

- Costo de inversión inicial
- Retorno de la inversión a mediano plazo
- Necesidad personal especializado
- Dependencia tecnológica ante el constante desarrollo tecnológico
- Constante actualización en determinados equipos

1.2.3. Elementos principales

Para este caso en particular se requiere automatizar el proceso completo desde la dosificación hasta empaqueo del producto de la máquina dosificadora.

Se describe el uso que se da a los elementos necesarios para la puesta en marcha. Para la automatización y puesta en marcha de la máquina dosificadora será necesario utilizar el siguiente conjunto de elementos:

- Elementos de control
- Elementos actuadores
- Elementos captadores
- Circuitos de mando y control

1.3. Elementos de control

Para el sistema de control automático de la máquina dosificadora se necesitan elementos que tomen lectura de señales externas para comunicación y control estable del proceso, en este caso en particular se utiliza como elemento de control principal un Control Lógico Programable (PLC).

1.3.1. Definición

El PLC será el encargado de mantener la comunicación entre el conjunto de elementos principales y los equipos electrónicos deben estar sincronizados para indicar cambios de velocidad o cambio de posición para activar los elementos actuadores.

1.4. Autómata programable (PLC)

El PLC un dispositivo electrónico robusto que puede operar en ambientes industriales propensos a alto riesgo. Es utilizado para el control de procesos industriales, emplea un microcontrolador con memorias programables capaz de leer señales de entrada para posteriormente llevar a cabo una tarea programada activando sus salidas físicas incorporadas

1.4.1. Definición

Es un dispositivo electrónico robusto que puede operar en ambientes industriales propensos a alto riesgo. Es utilizado para el control de procesos industriales, emplea un microcontrolador con memorias programables capaz de leer señales de entrada para posteriormente llevar a cabo una tarea programada activando sus salidas físicas incorporadas.

El PLC tiene la capacidad de lectura de señales de entrada analógicas como digitales e incluso es capaz de comunicarse con otros dispositivos electrónicos por medio de protocolo de comunicación Ethernet IP. El autómata utilizado para el desarrollo del proyecto es un autómata de tipo híbrido modular de la familia de controladores NX1P2.

1.4.2. Aplicaciones

Debido al éxito que el controlador lógico programable ha tenido desde su descubrimiento, las aplicaciones que se pueden desarrollar por medio de PLC han ido evolucionando, extendiéndose dentro de cada área y proceso dentro de la industria, entre las aplicaciones que se han desarrollado para satisfacer determinado tipo de necesidades se encuentran las siguientes:

- Fabricación de botellas
- Fabricación de jabones (Químicos)
- Fabricación de neumáticos
- Control de hornos y calderas
- Regulación y control de tráfico (Semáforos)
- Domótica y sistemas antirrobo
- Control de dosificación

1.4.3. Arquitectura de PLC

En la actualidad existen diferentes tipos de PLC, la principal diferencia se encuentra en su estructura de fabricación o hardware, la elección entre uno u otro dependerá del espacio o del dimensionamiento del proyecto que se desea desarrollar, los controladores más utilizados son el controlador de tipo compacto y PLC tipo modular.

1.4.3.1. PLC Compacto

Este tipo de controlador programable se caracteriza por tener su Unidad Central de Proceso (CPU), fuente de alimentación (PS), módulos de E/S en un mismo compartimento, razón principal por la cual se le conoce con el nombre de PLC compacto. La desventaja principal de este PLC es número de entradas y salidas limitadas.

Figura 5. **Autómata tipo compacto**



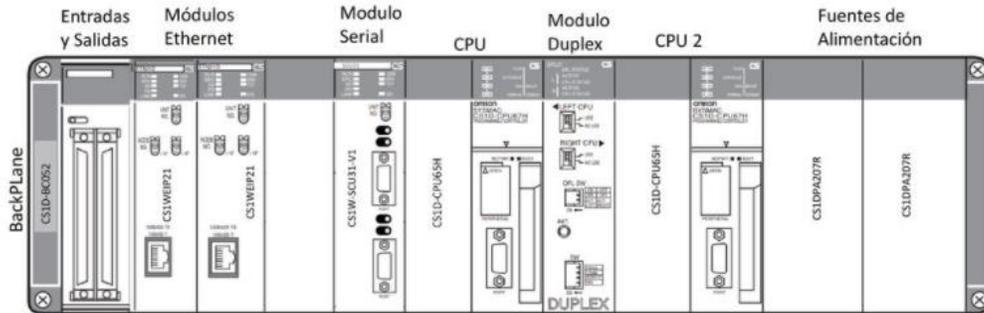
Fuente: OMRON Corporation (2021). *Autómata Programable NX1P2*. Consultado el 2 de febrero de 2022. Recuperado de <https://industrial.omron.es/es/products/NX1P2-9024DT1>.

1.4.3.2. PLC Modular

El autómata programable de tipo modular es considerado como uno de los más potentes controladores, debido a que presenta la ventaja de expansión del número de E/S y almacenamiento de memoria mucho mayor para programas complejos, principalmente fue diseñado para el control de máquinas industriales.

Se caracteriza por presentar su Unidad Central de Procesos (CPU), fuente de alimentación (PS), módulos de comunicación, sus módulos de entrada y salida en diferentes compartimentos.

Figura 6. **Autómata tipo modular**



Fuente: SlidePlayer.es Inc (2020). *PLC Modular*. Consultado el 2 de febrero de 2022.

Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/17992613/>.

1.4.4. Estructura externa

Corresponde a toda estructura del PLC que puede ser palpable como la fuente de alimentación, módulos de expansión de entrada y salida, módulos de comunicación e indicadores led.

1.4.4.1. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación constituye una de las partes más importantes de un PLC debido a que se encarga de proveer la energía suficiente y necesaria para el correcto funcionamiento de los circuitos eléctricos o electrónicos internos del controlador.

Dependiendo del fabricante, el controlador puede incorporar fuente de alimentación o necesitar de una fuente externa que deberá ser dimensionada en corriente según el consumo del controlado.

El tipo de alimentación externa para un PLC puede ser de tipo AC o de tipo DC, generalmente los voltajes de alimentación AC comunes son 120 VAC o 240 VAC, para una alimentación DC el voltaje más común es de 24 VDC.

Figura 7. **Fuente de alimentación**



Fuente: OMRON Corporation (2019). *Fuente 24VDC SKV8-S03024*. Consultado el 2 de febrero de 2022. Recuperado de <https://industrial.omron.es/es/products/S8VK-S03024>.

1.4.4.2. Módulo de expansión de entrada

El módulo de expansión de entrada permite al PLC de tipo modular leer señales de procesos exteriores para poder procesarlas, los módulos de entrada son utilizados por los PLC de tipo modular.

La principal ventaja que este tipo de controlador presenta sobre los controladores de tipo compacto es la expansión de la cantidad de entradas a un número finito, el límite está determinado por las especificaciones de fábrica del controlador.

Los módulos de entrada de un PLC pueden ser útiles para lectura de señales analógicas, digitales, señales de *encoder*, entre otras. La construcción física de las entradas puede ser de tipo transistor o tipo relé, se elige según la aplicación a desarrollar.

1.4.4.3. Módulo de expansión de salida

El módulo de expansión de salida permite al autómata llevar a cabo una tarea según instrucciones de la CPU y por el programa de usuario. Existen 2 tipos de salidas físicas, estas pueden ser salidas de tipo transistor o relé, se elige según el sistema de control a diseñar. El módulo de salida de un PLC se utiliza para enviar señal de tipo analógica, digital o salida de pulsos.

1.4.5. Estructura Interna

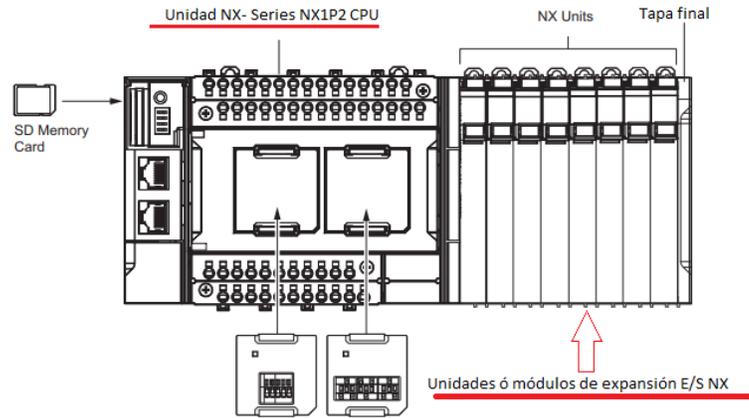
En la estructura Interna se encuentra la parte no palpable del autómata, todo lo correspondiente a memorias internas, instrucciones lógicas, instrucciones aritméticas e instrucciones de la Unidad de Procesamiento Central (CPU).

1.4.5.1. Unidad de Procesamiento Central

La CPU es la unidad más importante del controlador, se encarga de la lectura y procesamiento de todo tipo de datos e interpreta las instrucciones del programa de usuario para posteriormente llevar a cabo una tarea mediante la activación de sus salidas.

Está conformada por diferentes áreas de memoria, cada una destinada a una función específica, entre sus funciones principales podemos encontrar el almacenamiento de datos, coordinación de diversas tareas e indicadores.

Figura 8. **Autómata tipo modular**



Fuente: OMRON CORPORATION (2020). *Controlador con módulos de expansión E/S*. Consultado el 3 de febrero de 2022. Recuperado de www.ia.omron.com/data_pdf/cat/nx1p_p116-e1_9_2_csm1055399.pdf?id=3650.

1.4.5.2. Memoria de E/S

Es la encargada de establecer la comunicación del PLC con el proceso industrial a controlar, filtra y codifica la señal de entrada para posteriormente decodificar los valores en las salidas correspondientes.

1.4.5.2.1. Área de memoria CIO

Área de memoria destinada a entradas/salidas del autómata, esta área de memoria se utiliza para la comunicación del PLC con el mundo real, es el área de memoria utilizado para la ubicación de las entras y salidas físicas incorporadas del controlador o las incorporadas mediante módulos de expansión de E/S.

1.4.5.3. Memoria de datos

Memoria del PLC conocida como mapa de entradas/salidas, es una agrupación de datos definidos por medio de rangos de direcciones, existen distintas áreas de memoria dentro de un PLC, su uso específico depende de la manera en que se desarrolle el programa de usuario para el autómata que se utiliza. Las áreas de un PLC son el área especial para contadores, área para temporizadores, memoria de datos y área de retención de datos.

1.4.5.3.1. Direccionamiento

El tamaño de un área de memoria se mide en término de palabras (Word), una palabra o canal está compuesta por un número fijo de bits, el número de bits correspondiente a un canal es de 16 bits. En un autómata programable una dirección representa una ubicación específica en la memoria del PLC, una dirección suele tener información o datos determinados del programa de usuario.

El mapa de memoria de datos de un PLC representa el conjunto de todas las memorias de distinto tipo que posee un controlador. El direccionamiento es tomar un dato, un contador, un temporizador e incluso un relé interno de propósito general para darle una ubicación exacta de memoria en la memoria del controlador.

Cada área de memoria cuenta con un límite o rango, este rango se determina por las especificaciones de cada fabricante. La tabla I muestra las áreas de memoria correspondientes a un autómata de tipo modular de la serie NX/NJ, este autómata es el utilizado para la automatización de la máquina dosificadora de viscosos, en capítulos posteriores se describen las características correspondientes al controlador.

Tabla I. **Tipos de áreas de memoria y rangos**

Especificaciones de rendimiento	
Áreas de memoria NX1P2	
Tipo	Rango
Área CIO	0 a 6,144 canales (0 a 6,143)
Área de trabajo(W)	0 a 512 Canales (W0 a W511)
Área de retención(H)	0 a 1,536 Canales (H0 a H1,535)
Área de Memoria extendida	-
Área de datos (DM)	0 a 16,000 Canales (D0 a D15,999)

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

1.4.5.3.2. Área de trabajo (W)

Área de memoria conocida con el nombre de área de relés internos, se utiliza para almacenamiento de instrucciones intermedias y para ampliar el área de trabajo interno, es catalogada como un tipo de memoria volátil lo que indica que no retiene el estado en el que se encuentra si en determinado instante la alimentación del autómata deja de ser suministrada.

Al ser un área interna no puede controlar ningún tipo de dispositivo externo, únicamente procesa datos de tipo lógico o numérico.

1.4.5.3.3. Área de retención (H)

Área de memoria similar al área tipo W, su función es ampliar el área de trabajo interna, la principal característica es ser una memoria de tipo retentiva, esto quiere decir que mantiene el estado de la variable en ON/OFF según los datos almacenados aun cuando se corta el suministro de la energía por un determinado instante.

Los datos no se pierden al dejar de suministrar energía al controlador, este tipo de áreas de memoria se direccionan por canal o bit.

1.4.5.3.4. Área de memoria EM

Este tipo de memoria se encuentra habilitada en muchos autómatas. Es una memoria de archivos que almacena las configuraciones principales del controlador, es importante saber que únicamente puede utilizarse para almacenamiento de datos y archivos de programa.

1.4.5.3.5. Área de datos (DM)

Es utilizada para almacenamiento o gestión de datos de tipo numérico, únicamente se puede acceder a canales completos, esto indica que cada área de memoria de tipo DM está conformada por 16 bits. La característica que más destaca es que es un tipo de memoria retentiva por ese motivo es utilizada para direccionamiento indirecto.

1.4.5.4. Memoria de programa de usuario

Área de memoria donde se almacena el programa creado por el usuario a través de un *software* de programación. En esta memoria se guarda todo tipo de instrucción que posteriormente ejecutará el autómata, la información de parámetros y configuraciones.

1.4.6. Lenguaje de programación

El lenguaje de programación es un *software* diseñado especialmente para programar instrucciones y dar órdenes lógicas que pueda reconocer un PLC.

El lenguaje de programación de un PLC surgió con la aparición de los primeros autómatas programables. En un esfuerzo por estar a la vanguardia de la tecnología muchas compañías desarrollaron su propio diseño de PLC y con ello su propio *software* de programación según fabricante, esto generó un problema de compatibilidad debido a la distinta sintaxis utilizada en cada instrucción de programación.

En respuesta a este problema que afectó a la industria, la Comisión Internacional de Electrotécnica (IEC) desarrolló la norma IEC 61131-3, norma que estandarizó el conjunto de instrucciones y la sintaxis que todos los fabricantes de distintas marcas de PLC deben utilizar.

De esta manera se estandarizaron los lenguajes de programación para PLC, entre los más utilizados se encuentran:

- Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC)
- Diagrama Bloques de Función (FBD)
- Diagrama de Escalera (LD)
- Texto Estructurado (ST)
- Lista de Instrucciones (IL)

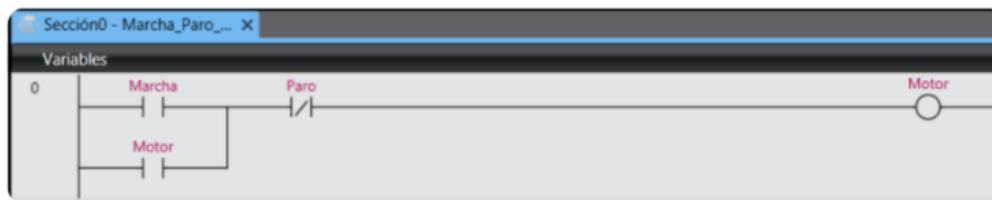
Los lenguajes de programación para un autómata se ubican en dos categorías, la primera es la categoría gráfica que admite un conjunto de símbolos gráficos similares a planos eléctricos utilizados en automatización y la segunda, el lenguaje de tipo escrito que admite únicamente instrucciones a través de texto.

1.4.6.1. LD Diagrama de contactos

Es un lenguaje de programación para PLC de tipo gráfico, en la actualidad es uno de los lenguajes más utilizados debido a su fácil comprensión, este se asemeja a los clásicos esquemas eléctricos de control, razón por la que se ha convertido en un lenguaje sencillo.

Los símbolos gráficos utilizados en este lenguaje de programación tienen la ventaja que están estandarizados y son utilizados por todos los fabricantes.

Figura 9. Programación en lenguaje Ladder



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio.

1.4.6.2. ST Lenguaje texto estructurado

Es un tipo de lenguaje de programación para PLC basado en lenguaje tipo texto, es similar a los lenguajes de programación estructurada como Pascal o Basic, la principal desventaja que presenta al ser un lenguaje de alto nivel es la demanda de conocimientos previos de programación.

Utiliza el tipo de sintaxis que incluye estructuras condicionales y repetitivas como el uso de if, for, while, case, entre otras. Este tipo de lenguaje se emplea de manera apropiada cuando se desea hacer uso de ciclos.

Figura 10. **Lenguaje texto estructurado**

Programa ST	<pre>// 1. File Open fOpen(Execute:=startWriting AND _Card1Ready, FileName := 'MyFile_1.txt', Mode := _eFOPEN_MODE#_RDWR_APPEND, FileID => fID); // 2. File Puts fPuts (Execute:= fOpen.Done, FileID:=fID, In:='Text to Write'); // 3. File Close fClose (Execute:=fPuts.Done, FileID:=fID); // 4. Restart Initial Variable IF fClose.Done THEN startWriting:=FALSE; END_IF;</pre>
------------------------------	--

Fuente: OMRON Corporation (2020). *Sysmac always in control*. Consultado el 3 de febrero de 2022. Recuperado de https://drive.google.com/file/d/1UrqzBCJGW5Q49r9uNx3KLJ_C4D9zrndA/view.

1.4.7. **Protocolo de comunicación**

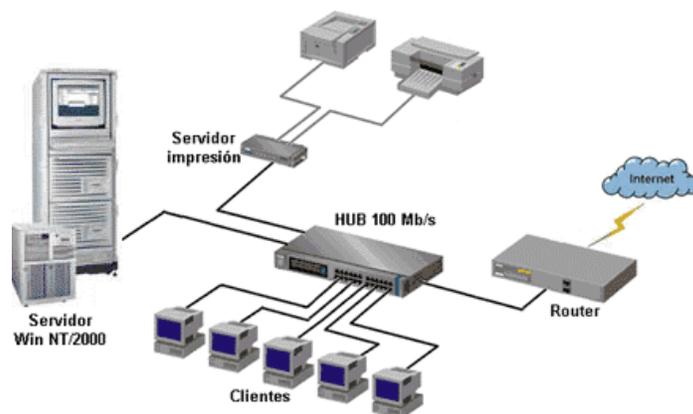
Es un conjunto de reglas, estructuras y sintaxis utilizada por los dispositivos en la industria para poder transmitir información recibiendo o enviando datos entre sí.

Existen una diversidad de protocolos de comunicación, cada uno tiene su uso específico. En el presente capítulo se definen únicamente los protocolos que serán de utilidad para desarrollo de automatización de la máquina dosificadora de viscosos, los protocolos que se utilizan son protocolo Ethernet TCP/IP y Protocolo EtherCAT.

1.4.7.1. Protocolo Ethernet TCP/IP

Este protocolo está basado en el conjunto de paquetes de datos TCP/IP, se considera red de área local que asigna dirección única a los equipos conectados, garantizando que la información enviada por el equipo emisor sea recibida por el equipo receptor de forma rápida, segura y sin alteraciones.

Figura 11. Ethernet TCP/IP



Fuente: PROMETEC (2019). *Redes Ethernet y protocolo TCP/IP*. Consultado el 15 de febrero de 2022. Recuperado de <https://www.prometec.net/tcpip/>.

1.4.7.2. Protocolo EtherCAT

Es el protocolo de comunicación industrial más rápido actualmente, considerado de alto rendimiento y desarrollado para el control de tecnología de automatización con nivel de respuesta en tiempo real.

Las ventajas más representativas de este protocolo es el control de sistemas en tiempo real y bajo costo de implementación.

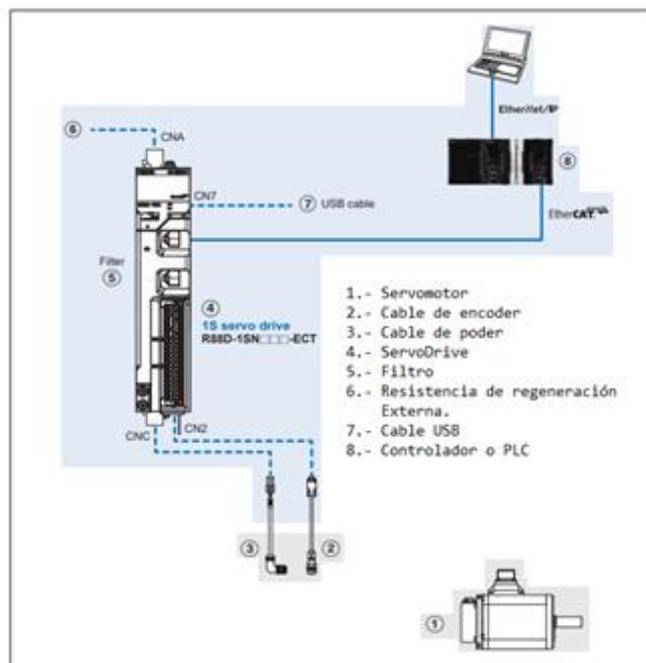
1.5. Amplificador electrónico de servomecanismos

Está formado por cuatro componentes esenciales para su funcionamiento, un controlador o autómatas, un servodrive, un servomotor y un codificador integrado utilizado como dispositivo de retroalimentación.

1.5.1. Definición

También conocido como servoaccionamiento, es un dispositivo electrónico de alto rendimiento utilizado en la industria para el desarrollo de diversas aplicaciones que requieren de movimiento preciso, alta velocidad y control de torque.

Figura 12. Sistema de control, Servoaccionamiento



Fuente: elaboración propia, realizado con Paint.

La característica principal que define a un servoaccionamiento es que trabaja con un sistema de retroalimentación convirtiéndolo en un sistema de bucle cerrado.

Está formado por cuatro componentes esenciales para su funcionamiento, un controlador o autómeta, un servodrive, un servomotor y un codificador integrado utilizado como dispositivo de retroalimentación.

1.5.2. Componentes

Para poner en funcionamiento a un amplificador electrónico de servomecanismos se debe utilizar un Controlador lógico programable, este se encargará dar indicaciones al servomecanismo según se requiera.

1.5.2.1. Autómeta

Es el dispositivo encargado de determinar el movimiento que debe realizar el servomotor por medio de instrucciones, comandos especiales, lógica de programación, control de movimiento y comunicación con el servodrive, este dispositivo suele ser un controlador lógico programable (PLC).

1.5.2.2. Servodrive

Recibe las instrucciones del controlador decodificándolas para posteriormente activar el servomotor mediante variación de voltaje/corriente eléctrica, el drive es encargado de mantener el par y velocidad en el eje del motor.

Figura 13. **Servodrive**



Fuente: OMRON CORPORATION (2019). *Controladores 1S*. Consultado el 15 de febrero de 2022. Recuperado de <https://industrial.omron.es/es/products/1s-servo-drive>.

1.5.2.3. Servomotor

Es considerado como un dispositivo de accionamiento eléctrico utilizado para control de precisión en el movimiento y alta velocidad, el servomotor está formado en su interior por un encoder o decodificador que convierte el movimiento del eje en pulsos digitales

1.5.2.4. Encoder

Es un dispositivo compuesto por un sensor de tipo analógico, está alojado en el interior del servomotor, su función principal es convertir el movimiento del mecanismo de su eje en pulsos de tipo digital, esta información es enviada al Servodrive para su posterior interpretación y accionamiento.

1.5.3. Principales aplicaciones

Entre las principales aplicaciones para un servoaccionamiento se enlistan las siguientes:

- Cirugía robótica
- Control de etiquetado
- Control de envasados
- Control para doblado de cajas
- Control de dosificado
- Control de movimientos en máquinas para corte

1.6. Interfaz Humano Máquina (HMI)

Es un sistema que permite una comunicación industrial de tipo visual, la interfaz es diseñada para soportar el entorno agresivo de la industria como el exceso de polvo, sumersión e incluso derrame de líquidos, se utiliza para el control y registro de datos dentro de una línea de producción, ofrece información del proceso de fabricación o estado de los componentes correspondientes al sistema de control.

1.6.1. Definición

Esta interfaz presenta alta ventaja dentro de la industria debido a que se puede visualizar de forma gráfica los procesos de fabricación e introducir correcciones en tiempo real.

Regularmente este tipo de dispositivo trabaja en conjunto con un autómata programable que recibe o envía información a través de una conexión de red, las conexiones más utilizadas son la comunicación serie RS232 o Ethernet.

Figura 14. **Interfaz Humano Máquina**



Fuente: OMRON Corporation (2020). *Pantalla táctil HMI*. Consultado el 16 de febrero de 2022.
Recuperado de <https://industrial.omron.es/es/products/NB7W-TW01B>.

1.6.2. Campos de aplicación

Los campos donde se aplica este tipo de interfaz son muy amplios debido a los beneficios que se tienen en su implementación, su aplicación aumenta la agilidad en la corrección de procesos.

Los principales campos de aplicación son:

- Industria de textiles
- Máquinas de dosificado
- Control de llenado en embotelladoras
- Control de producción de tabaco
- Control de producción farmacéutica

1.6.3. Funciones principales

Existen infinidad de funciones atribuidas a una HMI entre las principales se encuentra la gestión de alarmas, registro de datos, supervisión y control.

1.6.3.1. Supervisión y control

Es una función de las más importantes en una HMI, a través de ellas se analiza el estado de funcionamiento de un sistema por medio de uso de gráficos que presenten de manera visual el proceso de fabricación en tiempo real.

1.6.3.2. Registro de datos

Esta función permite guardar datos de procesos o errores que se originan durante determinado periodo de producción para posterior análisis y corrección basado en los datos recopilados.

1.6.3.3. Gestión de alarmas

Esta función es utilizada para alertas de peligro el en proceso de producción o advertencias que puedan ocasionar un daño irreversible en la línea de producción. Son alertas de tipo visual que se presentan en la pantalla, pueden ser desactivadas corrigiendo el problema por el que fue activada la alarma inicial, esto como método de autoprotección para el sistema en el cual está incorporada la HMI o para proteger la vida del operador de la máquina.

1.7. Elementos actuadores

Dispositivos esenciales para un sistema de automatización industrial, conocidos con el nombre de elementos de salida, son encargados de ejecutar la tarea final demandada por el PLC, convirtiendo las señales de salida del controlador en señales de mayor potencia o movimiento mecánico.

Existen 3 tipos de actuadores y se distinguen según la de energía que los acciona. Los actuadores pueden ser de tipo eléctrico, tipo mecánico o de tipo neumático.

1.7.1. Actuador neumático

Es un actuador utilizado para generar movimiento mecánico, se caracteriza por su fuente de alimentación que proviene de alimentación a través de una línea encargada de proporcionar aire comprimido que es generado a través de un dispositivo compresor.

Existen diversos tipos de actuadores neumáticos, podemos encontrar los de tipo lineal, tipo giro y tipo especial.

Los actuadores lineales más utilizados por la variedad de aplicaciones que se pueden desarrollar con ellos son:

- Cilindros simple efecto
- Cilindros doble efecto
- Cilindro de doble vástago
- Cilindros con fuelle

Figura 15. **Actuadores neumáticos**



Fuente: Saldaña, Anibal (2018). *Actuadores neumáticos*. Consultado el 16 de febrero de 2022.
Recuperado de <https://www.pinterest.com/pin/845480530039675063/>.

1.7.2. **Actuador eléctrico**

Dispositivo que utiliza para su accionamiento corriente eléctrica, este dispositivo convierte una señal eléctrica de baja potencia en ejecución de tareas a través de un movimiento mecánico.

1.7.2.1. **Electroválvula**

Es un actuador eléctrico diseñado para controlar la cantidad de flujo de aire en una tubería o actuador neumático, se acciona mediante alimentación eléctrica de un solenoide. La alimentación necesaria para su accionamiento es 120 VAC o 24 VDC.

Figura 16. **Bloque de electroválvulas**



Fuente: SMC Corporation (2016). *Electroválvula de 5vías*. Consultado el 17 de febrero de 2022.
Recuperado de https://content2.smcetech.com/pdf/VQZ1000-2000-3000_ES.pdf.

1.7.2.2. **Servomotor**

Es un dispositivo eléctrico similar a un motor de corriente DC, con la diferencia en la capacidad de ubicar una posición exacta, variar su velocidad y mantener el torque con la ayuda de un servodrive especializado para trabajo en conjunto.

Figura 17. **Servomotor AC**

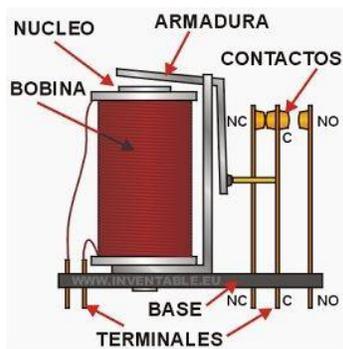


Fuente: SANYO DENKI (2019). *Servomotor AC*. Consultado el 17 de febrero de 2022.
Recuperado de <https://www.directindustry.es/prod/sanyo-denki-europe/product-8104-490354.html>.

1.7.2.3. Relé Electromecánico

Es un dispositivo de accionamiento eléctrico, su construcción consiste en una bobina, contactos, un núcleo y un electroimán, se acciona por corriente eléctrica que excita la bobina generando un campo magnético que origina la apertura o cierre de sus contactos.

Figura 18. Relé electromecánico



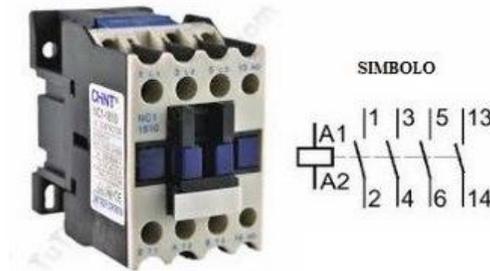
Fuente: AREATECNOLOGIA (2014). *Relé*. Consultado el 17 de febrero de 2022. Recuperado de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/rele.html>.

1.7.2.4. Contactor

Dispositivo electromecánico de mando a distancia con capacidad de establecer o interrumpir la corriente eléctrica que alimenta una carga relacionada con motores eléctricos, tiene una construcción similar a la del relé electromecánico.

Uno de los usos principales del contactor que lo diferencia de un relé electromecánico es la capacidad de accionar cargas muy elevadas lo que su tamaño es mayor al de un relé electromecánico.

Figura 19. **Contactador eléctrico**



Fuente: AREATECNOLOGIA (2014). *Contactador*. Consultado el 17 de febrero de 2022.
Recuperado de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/contactador.html>.

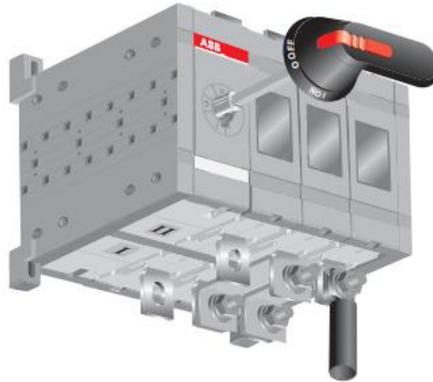
1.7.2.5. Guardamotor

El guardamotor es un dispositivo de protección eléctrica considerado como una unión entre relé de tipo térmico y un contactor. Diseñado para protección de motores contra fallas de fase, cortocircuito o sobrecargas, permite el accionamiento de la protección del motor en milésimas de segundo,

1.7.2.6. Seccionador

Dispositivo eléctrico de accionamiento mecánico utilizado para el aislamiento de circuitos e interrupción de flujo de corriente durante los mantenimientos preventivos o correctivos, con esto se evita riesgos de descargas o choque eléctrico.

Figura 20. **Seccionador mecánico**



Fuente: ABB Corporation (2018). *Seccionador*. Consultado el 17 de febrero de 2022.

Recuperado de

https://library.e.abb.com/public/15b551d675047804c12576ab005a00d3/OTs_web.pdf

1.8. Elementos captadores

Los elementos captadores son elementos que convierten señales analógicas del entorno industrial a señales digitales que puedan procesadas posteriormente.

1.8.1. Definición

Son elementos primarios que se encargan de procesar las señales analógicas del entorno industrial y convertirlas en señales digitales para posterior lectura de un elemento de control.

1.8.2. Termopar

Es un dispositivo utilizado como sensor de temperatura, tiene la capacidad de convertir una señal térmica en diferencia de potencial en la salida, transformando la señal de entrada en una señal capaz de ser procesada por un sistema electrónico.

1.8.2.1. Tipo K

Este tipo de termopar se caracteriza por su construcción de aleación de Níquel y Cromo, el rango de temperatura soportado va de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1,372\text{ }^{\circ}\text{C}$ con sensibilidad de $41\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

1.8.2.2. Tipo J

Este tipo de termopar se caracteriza por estar construido con aleación de Cobre, Hierro y Níquel, el rango de temperatura soportado va de $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 21. Termopar



Fuente: Full Gauge Controls (2020). *Termopar tipo J*. Consultado el 17 de febrero de 2022.

Recuperado de <https://www.fullgauge.com/es/productos-termopar-tipo-j-sensor-sb12>.

1.8.3. Sensor Inductivo

Este sensor de proximidad es utilizado para la detección de materiales de tipo ferroso, es útil para la medición de posición o velocidad dentro de la industria.

Figura 22. **Sensor Inductivo**



Fuente: OMRON Corporation (2020). *Sensor Inductivo*. Consultado el 17 de febrero de 2022.

Recuperado de <https://industrial.omron.es/es/products/e2ew>.

1.8.4. Control de temperatura

Es un dispositivo electrónico diseñado para mantener estable la variación de temperatura generada por una resistencia industrial. Toma lectura de señales analógicas y diferencias de potencial generadas por termopares o termorresistencias para mantener el control de temperatura requerido

Figura 23. **Control de temperatura**



Fuente: OMRON Corporation (2020). *Control E5CC*. Consultado el 17 de febrero de 2022.
Recuperado de <https://docs.rs-online.com/a402/0900766b8128f8d1.pdf>.

1.9. Máquina dosificadora de viscosos

Es una máquina construida con el propósito de agregar cantidades exactas de materiales de tipo viscoso a su correspondiente empaque, cumple con el trabajo de empaqueo de producto por medio de un proceso que utiliza resistencias de calentamiento industrial montadas en un mecanismo vertical y horizontal dando sellado al empaque.

1.9.1. Definición

La gama de dosificado de la máquina va desde los 200 g hasta los 1,500 g según sea la demanda que se requiera de producto. La máquina fue construida para cubrir el aumento en producción debido a la constante demanda de producto.

El dosificado y empacado actual se realiza de forma manual, siendo un proceso lento de empacado, generando pérdidas debido a que no se cubre la demanda solicitada.

La mejora aplicada al diseño de la instalación eléctrica de la máquina dosificadora que marca la diferencia con respecto a máquinas de tipo convencional, es la eliminación total de árbol de levas y de su *encoder* físico que indica su posición, el árbol de levas es un mecanismo formado por un eje central al que se le colocan distintos mecanismos alrededor, estos mecanismos van posicionadas a un ángulo determinado a manera de que cada leva pueda activar un mecanismo en un mismo intervalo o distinto intervalo de tiempo.

El *encoder* físico del árbol de levas se virtualizó por medio de uso de un *encoder* virtual dentro del programa de usuario, cada leva del árbol de levas encargada de accionar físicamente un mecanismo colocado en su salida se sustituyó por medio de instrucciones de programación en el programa de usuario del PLC. Los mecanismos de la máquina que se ubicaban en la salida de las levas se ubicarán en salida del PLC para posteriormente ser activados por medio el programa de usuario. La programación de la virtualización del árbol de levas y levas se desarrolla en el capítulo 4 de este documento.

Otra posibilidad que existe es la utilización de un *encoder* físico con el que se pueden obtener ventajas como una mayor resolución, precisión y exactitud. Con la utilización de un *encoder* físico se debe tomar en consideración que siempre se presenta desfase con respecto a la posición cero de la máquina, por lo cual al utilizar un *encoder* físico se debe tomar en consideración la utilización de un sensor de ciclo para que el PLC pueda determinar la posición en la que se encuentra la máquina en todo momento y así no perder la sincronización del proceso de la máquina dosificadora.

El diseño mecánico de la máquina está basado en máquinas de dosificado de grano. Es importante mencionar que la señal que el *encoder* virtualizado fue tomado del propio servomotor que está acoplado al eje principal de la máquina, con esto se busca reducir costos, debido a que no se instaló otro *encoder* físico.

Figura 24. **Máquina dosificadora de viscosos**

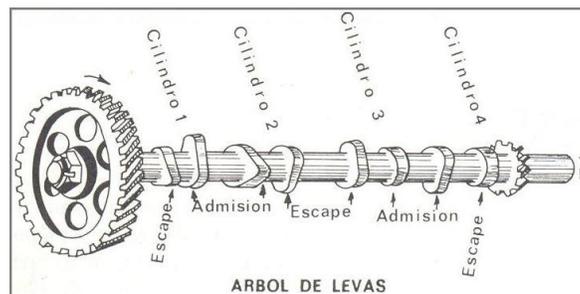


Fuente: [Noé Jeremías García]. (Taller mecánico, San miguel Petapa. 2021). Colección particular. Guatemala.

1.9.1.1. Árbol de levas

Es un mecanismo formado por un eje central al que se le colocan distintos mecanismos a su alrededor a un determinado ángulo, estos mecanismos colocados a lo largo del eje son conocidos como levas encargadas del accionamiento de otro mecanismo externo en un intervalo de tiempo del proceso industrial.

Figura 25. Árbol de levas mecánico



Fuente: Sistema electrónico (2013). *Árbol de levas*. Consultado el 17 de febrero de 2022.

Recuperado de <http://alexis-mr.blogspot.com/2013/06/arbOL-de-levas.html>.

1.9.1.2. Árbol de levas virtual

Un *encoder* es un dispositivo utilizado para el control de posición en la industria, genera cierto intervalo de datos que son leídos por un PLC para determinar la posición exacta de un mecanismo giratorio, en la máquina dosificadora es utilizado para conocer la posición exacta del árbol de levas.

El *encoder* virtual utilizado en el programa de usuario del PLC cumple con la misma función, generar un intervalo de datos de 0 a 360, entendiéndose por ese intervalo el tiempo que le toma a la máquina realizar un ciclo. Para la generación

de este intervalo de valores se hace el uso de bloques Motion Control, como se muestra en el capítulo 4 de este documento.

Una leva virtual en el programa de usuario se crea partir de la limitación de un rango de datos, para esto se utilizan bloques de instrucciones de comparación para limitar el accionamiento de un mecanismo conectado en la salida del PLC a un intervalo limitado de datos generados por el *encoder* virtual que va de 0 a 360.

A través de instrucciones de comparación del programa de usuario del PLC, se limita la activación de una salida del PLC a un rango específico de valores numéricos con respecto a los valores numéricos generados por el *encoder* virtual. Para activar el sello vertical, el rango de comparación debe de limitar el accionamiento en los valores de 0 a 180 con respecto a los datos generados por el *encoder* virtual que son de 0 a 360, esto indica que cuando el *encoder* virtual genere valores de 0 a 180 las instrucciones dentro del programa activarán una salida del PLC, pero cuando el *encoder* genere valores entre 181 y 360 la salida del PLC permanecerá inactiva, este proceso se repetirá de manera cíclica.

De esta manera se crea un árbol de levas virtual a través del uso de un *encoder* virtual, la virtualización de las levas se realiza por medio instrucciones de programación que limitan un determinado rango de valores del intervalo de valores generado por el *encoder* virtual.

1.9.2. Partes de la máquina

La máquina dosificadora de viscosos está constituida por diferentes mecanismos que trabajan en conjunto para la dosificación y empaqueo de producto. Las partes esenciales que forman parte de la máquina dosificadora de viscosos son las siguientes:

- Sello vertical y horizontal
- Jalador para arrastre de Film
- Tanque de dosificado
- Válvula 3/2 dosificador
- Pistón de dosificado
- Freno Film y fechadora
- Balancín

1.9.2.1. Sellador vertical

El sello vertical es la parte de la máquina dosificadora encargada de unir y sellar de manera vertical el material de empaque utilizando una resistencia de calentamiento industrial montada a lo largo de un mecanismo vertical, para el control de la temperatura en la resistencia se utiliza un termopar con un controlador de temperatura electrónico E5CC.

1.9.2.2. Sellador horizontal

Es la parte de la máquina dosificadora que se encarga de la unión y sellado horizontal del empaque, utiliza una resistencia de tipo industrial montada a lo largo de un mecanismo horizontal. El sellador horizontal también encarga del corte horizontal para separar un empaque de producto de otro.

La temperatura en la resistencia se controla por termopar conectado a un control electrónico de temperatura E5CC.

1.9.2.3. Tanque de dosificado

Es la estructura construida de acero inoxidable, utilizada para el almacenamiento del producto viscoso que se dosifica. Mantiene alimentación continua del producto que se desea dosificar.

1.9.2.4. Válvula 3/2 dosificador

Es una válvula de 3 vías, 2 posiciones, utiliza 1 posición para dar paso a que el pistón de dosificado se conecte con el tanque de dosificado dando lugar a que el pistón de dosificado pueda llenarse de producto y la segunda posición se utiliza para conectar el pistón de dosificado con el material de empaque para ser llenado.

Figura 26. **Válvula 3/2 dosificador**

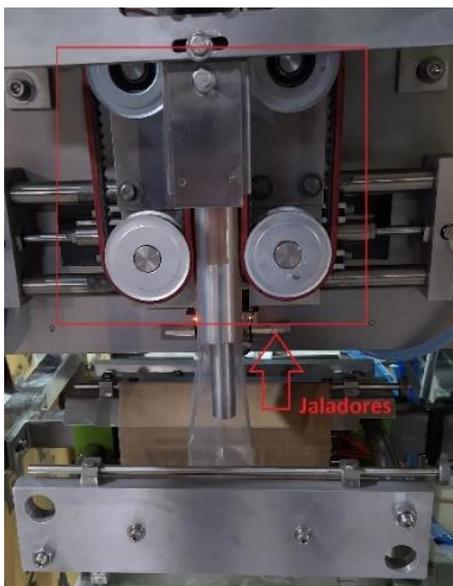


Fuente: Tecnoval (2020). *Válvula 3/2*. Consultado el 17 de febrero de 2022. Recuperado de <http://www.tecnoval.com/Productos/Valvulas>.

1.9.2.5. Jalador para arrastre de Film

Está formado por un grupo de 4 piezas rotativas conectadas en parejas (jalador izquierdo/derecho) a través de una banda tipo caucho, están unidas en la parte posterior a un servomotor que al girar provoca el movimiento rotativo en cada pareja de piezas provocando el arrastre del papel.

Figura 27. Jaladores para Film



Fuente: [Noé Jeremías García]. (Taller mecánico, San miguel Petapa. 2021). Colección particular. Guatemala.

1.9.2.6. Pistón de dosificado

Este pistón es el encargado de la dosificación del producto viscoso dentro del material de empaque según la presentación del producto, la presentación puede variar entre 200 g y 1500 g.

1.9.2.7. Balancín

La función principal de este mecanismo es mantener el material de empaque a una presión estable, para que pueda ser arrastrado por los jaladores para su posterior sellado. Este mecanismo se mantiene en un constante balance vertical, es controlado por 2 sensores, uno superior, otro inferior y el mecanismo de freno para film como se muestra en la figura 28.

Figura 28. Balancín para Film



Fuente: [Noé Jeremías García]. (Taller mecánico, San miguel Petapa. 2021). Colección particular. Guatemala.

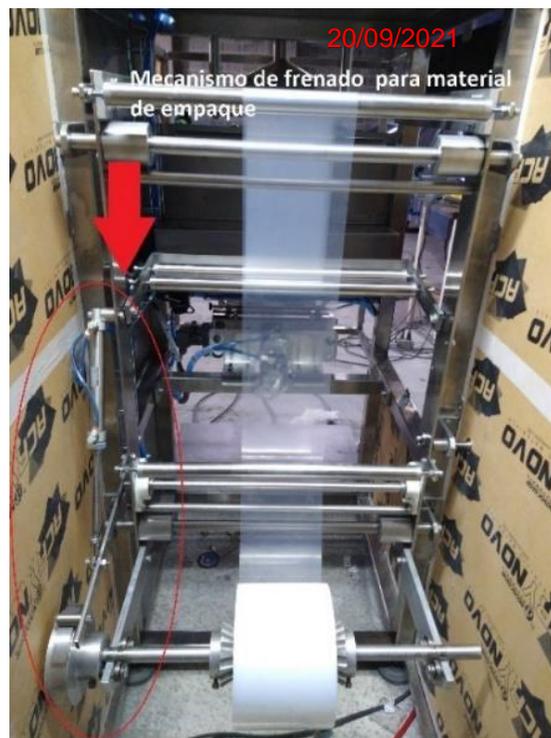
1.9.2.8. Freno para Film

El freno para material de empaque de la máquina dosificadora de viscosos es un mecanismo que trabaja en conjunto con el mecanismo llamado balancín.

El freno se acciona cuando el balancín es detectado por el sensor superior lo que indica que el material de empaque se encuentra demasiado flácido por lo que se acciona el freno para aumentar la presión en el material de empaque (Film).

El freno se desactiva al momento de que el sensor detecta en sensor de límite inferior del balancín lo cual indica que el material de empaque se encuentra bajo demasiada presión por lo cual debe desactivarse. El material de empaque no puede estar flácido, ni presionado debido a que causaría una ruptura en el material de empaquetado.

Figura 29. **Freno Film**



Fuente: [Noé Jeremías García]. (Taller mecánico, San miguel Petapa. 2021). Colección particular. Guatemala.

1.9.2.9. Fechadora

La fechadora es un dispositivo electrónico que se activa con una señal de salida enviada por el PLC que indica que el material de empaque se encuentra en posición para que se coloque la fecha de empaqueo y la fecha de vencimiento del producto viscoso.

Figura 30. **Fechadora láser**



Fuente: Videojet Technologies, Inc (2019). *Fechadora tipo láser*. Consultado el 18 de febrero de 2022. Recuperado de <https://www.videojet.mx/mx/homepage/products/continuous-inkjet-printers/light-duty-cij-printers/videojet-1240.html>.

2. DISEÑO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO ELECTRÓNICO

2.1. Levantamiento

Esta es la etapa más importante previa a la ejecución del proyecto, en esta etapa se realiza un análisis y recopilación de información por medio de una visita de campo que permite identificar el área de necesidad para posteriormente elaborar la propuesta para el proyecto.

En esta etapa se identifica la necesidad de diseño de sistema de control de los mecanismos que forman parte de la máquina dosificadora para su posterior puesta en marcha.

Para el sistema de control es importante tener la descripción del proceso completo de la máquina y el detalle del funcionamiento de los mecanismos de la máquina dosificadora.

Comprendido el funcionamiento se realiza el dimensionamiento del equipo eléctrico y electrónico que formara parte del sistema de control. Durante el dimensionamiento de cada elemento se realiza una breve descripción del funcionamiento que cada uno cumple.

Existe una diversidad de marcas de equipos para control y automatización en este trabajo de graduación se dimensionarán equipos que cumplan con los requerimientos mínimos del proyecto.

2.2. Dimensionamiento de equipo electrónico

El equipo electrónico forma parte de los elementos de control del sistema de control, en el siguiente apartado se describen sus características.

2.2.1. Control Lógico Programable NX1P2-9024DT1

Durante la visita de campo se realizó un análisis de la cantidad de entradas físicas correspondiente a los dispositivos de entrada/señalización que serán encargados de la retroalimentación para control del sistema, se contabilizó la cantidad de salidas físicas correspondientes a cada mecanismo de la máquina.

En la tabla II y III, se muestra la cantidad de dispositivos de E/S necesarios con su descripción correspondiente.

Tabla II. **Dispositivos de entrada PLC**

Entrada Física digital	Descripción (Entradas físicas digitales)
01	Botón paro de emergencia
02	Botón de inicio o botón <i>start</i>
03	Botón de paro o botón <i>stop</i>
04	Sensor indicador de jalador izquierdo en posición
05	Sensor indicador de jalador derecho en posición
06	Sensor balancín superior
07	Sensor balancín inferior
08	Sensor magnético atrás pistón dosificador
09	Sensor magnético adelante pistón dosificador
10	Sensor de nivel de producto mínimo
11	Señal de control de temperatura
12	Sensor de nivel de producto máximo.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

Tabla III. **Dispositivos de salida**

Salidas Físicas digitales	Descripción (Salidas físicas digitales)
01	Electroválvula cilindro sellador vertical
02	Electroválvula cilindros de jalador
03	Electroválvula cilindro de freno film
04	Electroválvula para válvula neumática de 3 vías
05	Actuador para llenado de tanque
06	Electroválvula de sellador horizontal
07	Electroválvula para tobogán de producto
08	Electroválvula para cilindro dosificador
09	Bomba de llenado de producto
10	Fechadora de producto
11	Activador de controles de temperatura
12	Electroválvula para cilindro dosificador de empuje
EtherCAT	Eje físico o servomotor

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

El controlador programable se debe considerar con un mínimo de 12 entradas digitales para los dispositivos de entrada/señalización. Una cantidad mínima de 12 salidas digitales como se muestra en la tabla II y III, más posibilidad para control de 2 ejes físicos por medio de protocolo de comunicación EtherCAT.

Se cuenta con la posibilidad de elección de 5 autómatas de la familia NX/NJ, pero se limita la elección entre 2 autómatas de la serie NX1P2 que cumplen con los requerimientos para el desarrollo de la aplicación. La elección se realiza entre los autómatas mostrados en la tabla IV.

Las características iniciales consideradas son el número de puntos de entrada, el número de puntos salida y número de servoejes para control.

Tabla IV. **CPU serie NX1P2**

Tipo	Modelo/CPU	Puntos de entrada	Puntos de Salida	Numero de ejes
NX1P	NX1P2-9024DT1	14	10	4
	NX1P2-1140DT1	24	16	8

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

En la tabla IV controlador NX1P2-9024DT1 cumple con los requerimientos de cantidad de puntos de entrada, pero no cumple con el requerimiento de cantidad de puntos de salida, cuenta únicamente con 10 puntos de salida y son necesarios 12 en total.

Al ser un autómata de tipo modular la solución consiste en integrar un módulo de salidas digitales para incrementar el número de puntos de salida, el número de ejes de control no representa problema, este controlador tiene la capacidad de control para 4 servoejes lo que es suficiente para el desarrollo de la aplicación, en la aplicación de la máquina dosificadora se hará uso de 2 ejes, uno utilizado como de control virtual para el *encoder* virtual y el otro para control del eje físico que en este caso es el servomotor.

El objetivo principal del dimensionamiento es obtener una relación/precio óptimo con la elección adecuada de la CPU, el autómata NX1P2-1140DT1 dobla en precio al NX1P2-9024DT1 por lo que es más conveniente seleccionar el NX1P2-9024DT1 más un módulo de expansión de salidas para incrementar la cantidad de salidas.

2.2.1.1. Características generales

El NX1P2 es un controlador de tamaño compacto que pertenece a la familia de controladores de máquinas NX/NJ, es un autómatas potente y funcional caracterizado por ser un dispositivo que proporciona control para ejes independientes.

Las características generales para este dispositivo autómatas NX1P2 son las siguientes:

- Encapsulado para panel con capacidad de montaje sobre riel Din.
- Entradas y salidas internas son de tipo transistor, pueden ser configuradas para ser de tipo NPN/PNP.
- Temperatura de ambiente de operación de 0 a 55 °C.
- Humedad ambiente de operación de 10 % a 95 % libre de condensado.
- Temperatura ambiente para almacenamiento de -25 a 70 °C.
- Altitud máxima para operación en condiciones normales debe de ser menor o igual a 200 m.
- El grado de contaminación generado es menor a 2, cumple con la normativa IEC 61131-2.
- La inmunidad al ruido en la línea de alimentación es de 2KV cumpliendo con la normativa IEC 610004-4.
- Pertenece a categoría II de sobrevoltaje según normativa IEC 61131-2.
- Posee resistencia a la vibración según la normativa IEC 60068-2 de 8.4 a 150 Hz a una aceleración de $9.8 m/s^2$ durante 100 minutos en las direcciones x,y,z.
- Incluye una batería incorporada con una vida de 5 años a una temperatura de 25 °C modelo CJ1W-BAT01.

2.2.1.2. Especificaciones eléctricas/mecánicas

Las especificaciones eléctricas y mecánicas con las que trabaja el control lógico programable son las siguientes:

- La CPU cuenta con las siguientes dimensiones: Alto 100 mm, ancho 71 mm, ancho 130 mm incluyendo tapa final.
- Temperatura ambiente de operación de 0 a 55 °C.
- El peso completo de la unidad es de 660 g incluyendo la tapa final.
- La fuente de alimentación para la CPU es de 24 VDC con un rango aceptable para un buen funcionamiento que puede variar entre valores de 20.4 VDC a 28.8 VDC.
- La potencia de consumo de la unidad es de 6.40 W.
- La corriente de *Inrush* de 10 A máx./0.1 ms o 2.5 A máx./150 ms.
- La corriente máxima soportada en cada terminal es de 4 A.

2.2.1.3. Especificaciones de rendimiento

Las especificaciones de rendimiento del autómata para ejecución y procesamiento dentro de la memoria son las siguientes:

- El tiempo de ejecución y procesamiento para instrucciones de tipo Ladder es de 3.3 ns mientras que para funciones matemáticas se tiene un tipo de procesamiento de 70 ns.
- Se tiene una capacidad de programación de 1.5 MB con capacidad de incluir 5,000 variables con atributo de retención y capacidad de incluir 90,000 variables sin atributo de retención.

Los tipos de memoria y cantidad de canales con los que puede trabajar la CPU del controlador se especifican en la tabla V.

Tabla V. **Tipos de memorias disponibles**

Tipo de memoria	Cantidad disponible
Área CIO	0 a 6,144 canal (0 a 6,143)
Área de trabajo (W)	0 a 512 canal (W0 a W511)
Área de retención (H)	0 a 1,536 canal (H0 a H1,535)
Área de datos (DM)	0 a 16,000 (D0 a D15,999)
Área de memoria (EM)	-----

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

El número de ejes que puede controlar este PLC es de 4 ejes de control de tipo independiente, el PLC no cuenta con la capacidad de control para ejes sincronizados, para esta aplicación no es necesario el uso de ejes sincronizados.

2.2.1.4. Protocolo de comunicación

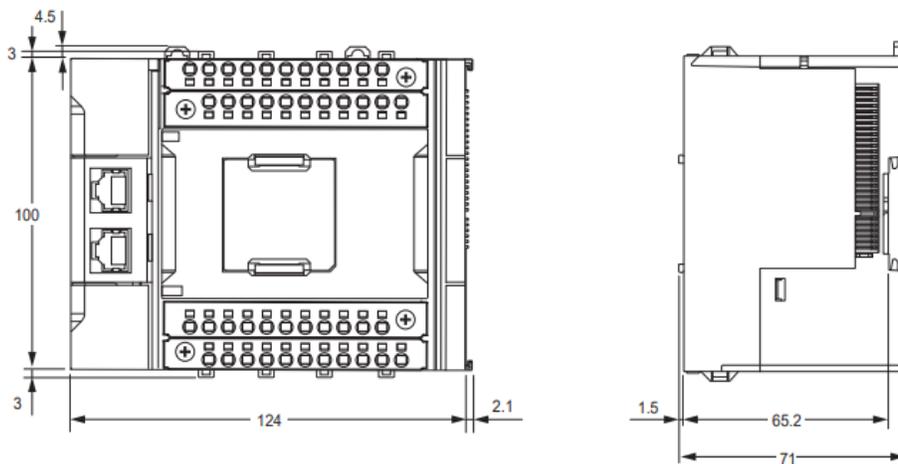
Este controlador se caracteriza por tener la capacidad de comunicación con los protocolos Ethernet TCP/IP y EtherCAT por medio de conector de comunicación de tipo RJ45.

La velocidad de transmisión para el protocolo Ethernet TCP/IP es de 100 Mbps/s, para protocolo EtherCAT es de 100 Mbps, con un límite de distancia máxima para transmisión de 100 m entre el *switch* ethernet y el nodo. El número de esclavos máximo que puede controlar por medio de protocolo EtherCAT es de 16 esclavos.

2.2.1.5. Medidas de PLC

Las medidas en milímetros del encapsulado del controlador NX1P2-9024DT1 se muestra en la figura 31.

Figura 31. Medidas de NX1P2-9024DT1



Fuente: OMRON Corporation (2019). *Controller NX1P2*. Consultado el 18 de febrero de 2022.
Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v6/i179e_nx1p-series_machine_controller_datasheet_en.pdf.

2.2.2. Módulo NX-PF730

El PLC NX1P2-9024DT1 es un controlador de tipo modular, para poder incorporar módulos de expansión de E/S se debe colocar primero una fuente de alimentación adicional, posteriormente se colocan los módulos de expansión de E/S, la fuente adicional es la encargada de proveer la alimentación a los módulos para funcionar en conjunto con el controlador.

El módulo de alimentación adicional es el módulo NX-PF730, va montado a un costado del PLC en unas ranuras diseñadas especialmente para encajar a la perfección.

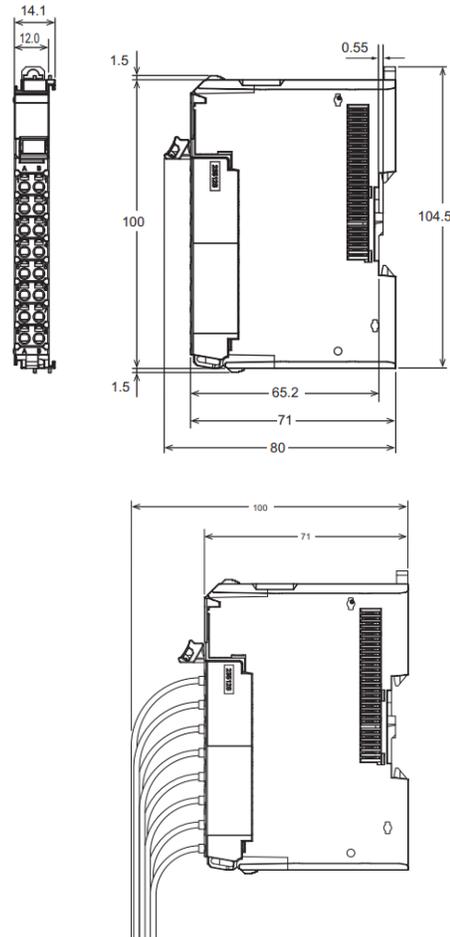
2.2.2.1. Características técnicas

- Capacidad de alimentación de hasta 8 módulos.
- Voltaje de alimentación de 5 a 24 VDC el rango de voltaje puede variar. desde 4.5 VDC hasta 28.8 VDC, potencia de consumo de 0.85 W.
- Corriente máxima de alimentación de 10 A.
- Posee terminales tipo *push-in*.
- Encapsulado para montaje en panel.
- Temperatura ambiente de operación de 0 a 55 °C.
- Humedad ambiente de operación de 10 % a 95 %.
- Temperatura ambiente para almacenamiento de -25 a 70 °C.
- Inmunidad al ruido en fuente de alimentación 2 kV según normativa IEC61000-4-4.
- Resistencia a vibraciones según normativa IEC 60068-2-6 de 5 a 8.4 Hz. con aceleración de 9.8 m/s^2 en direcciones x, y, z.
- Potencia de consumo de 0.85 W máximo.

2.2.2.2. Medidas

Las medidas físicas para el módulo de alimentación adicional se muestran en la figura 32, las medidas se encuentran en milímetros.

Figura 32. **Módulo de alimentación adicional**



Fuente: OMRON Corporation (2019). *Módulo de alimentación NX1P2*. Consultado el 23 de febrero de 2022. Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v4/nx-series_system_unit_-_nx-pd_pf_pc_tbx_datasheet_en.pdf.

2.2.3. **Módulo NX-OD4256**

Es un módulo de salidas digitales, se incluye dentro del dimensionamiento del sistema de control para aumentar la cantidad de puntos de salida digitales del controlador a 12 puntos.

Al ser un PLC de tipo modular se tiene la posibilidad de expandir su número de E/S por medio de módulos de E/S, para este caso en particular se hará uso de un módulo NX-OD4256 que incorpora 8 puntos de salidas digitales a transistor de tipo PNP. Estos puntos 8 puntos de salida son adicionales a los puntos de salida que el PLC trae incorporados los que son determinados por el fabricante.

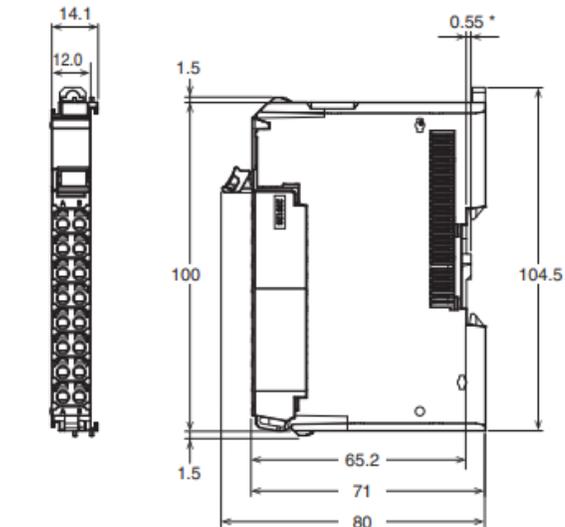
2.2.3.1. Características técnicas

- 8 puntos de salidas a transistor tipo PNP.
- Tiempo de respuesta ON/OFF 0.5 ms máx./ 1 ms máx.
- Voltaje nominal de alimentación de 24 VDC.
- Potencia de consumo máximo 1 W.
- Corriente nominal de consumo 30 mA máximo.
- Encapsulado espacial para montaje en panel en riel Din.
- Temperatura ambiente de operación 0 a 55 °C.
- Humedad ambiente de operación 10 % a 95 % sin condensado.
- Temperatura ambiente de almacenamiento -25 a 70 °C.
- Inmunidad al ruido en línea de fuente de alimentación de 2 KV según norma IEC 61000-4-4.
- Peso de unidad 70 g máximo.

2.2.3.2. Medidas de módulo de salida

Las dimensiones para el módulo NX-OD4256 con salidas tipo transistor PNP se muestran en la figura 33, las medidas se encuentran en milímetros.

Figura 33. **Módulo de salidas digitales**



Fuente: OMRON Corporation (2019). *NX series I/O*. Consultado el 23 de febrero de 2022.
Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v6/nx-series_digital_i_o_unit_-_nx-id_ia_od_oc_md_datasheet_en.pdf.

2.2.4. Interfaz humano máquina NB7W-TW01B

La terminal HMI parte del conjunto de dispositivos para diseño del sistema de control de la máquina dosificadora es la pantalla NB7W-TW01B, pertenece a la familia de la serie NB, esta familia ofrece pantallas de alta calidad y con capacidad de múltiples funciones.

La elección de esta pantalla no depende del precio, sino de la compatibilidad con el controlador NX1P2-9024DT1 por medio del protocolo de comunicación Ethernet IP por medio de conector RJ-45.

Esta pantalla táctil es considerada como una de las más completas debido a que incorpora excelentes características para el diseño de aplicaciones atractivas.

Los criterios más importantes para la selección de la pantalla se describen a continuación:

- Protocolo de comunicación: El protocolo de comunicación de la HMI NB7W-TW01B debe de coincidir con el protocolo de comunicación del PLC, en este caso el protocolo del PLC es Ethernet IP por medio de conector RJ-45, la pantalla posee este protocolo de comunicación por lo cual cumple con el criterio.
- Tamaño de la HMI: Existen diferentes tamaños de HMI que van desde 3.5 a 10 pulgadas, se elige el tamaño NB7W-TW01B de 7 pulgadas a solicitud y conveniencia del usuario final.
- Mismo fabricante: Se realiza la selección de la pantalla HMI NB7W-TW01B del mismo fabricante que el PLC NX1P2-9024DT1 debido a la alta compatibilidad y comunicación entre ambos, la pantalla HMI de la serie NB7 fue diseñada especialmente para trabajar con la serie de PLC NX1P2, según se indica en la hoja de fabricante.
- Según funciones: La pantalla debe de cumplir con funciones de muestra de datos, ingreso de datos, incorporación de gráficos vectoriales y mapa de bits, la pantalla NB7W-TW01B posee altas prestaciones y cumple con cada una de estas funciones que se acoplan correctamente en el diseño de los mandos de control de la máquina dosificadora debido a que posee una pantalla táctil tipo TFT con más de 65,000 colores y retroiluminación

LED de larga duración, lo cual permite la incorporación de gráficos vectoriales y mapa de bits, como se observa en el diseño de pantalla en el capítulo 4 de este documento.

2.2.4.1. Características técnicas

- *Display* de tipo LCD de 7 pulgadas, incorpora *backlight* tipo LED.
- Resolución de pantalla 800x480 (Horizontal x Vertical) con 65,000 colores.
- El tiempo de vida útil es de 50,000 horas a una temperatura ambiente de 25 °C utilizando una intensidad luminosa al 50 %.
- El panel táctil incorporado posee una membrana resistiva analógica, con resolución de 1,024 x 1,024 con duración para 1 millón de operaciones.
- Peso del dispositivo 715 g máximo.
- Posibilidad de trabajo en modo vertical u horizontal.
- Alimentación 24 VDC con rango aceptable de 20.4 a 27.6 VDC.
- Potencia total de consumo de 11 W.
- Resistencia del panel de operaciones IP65 con resistencia a polvo y salpicaduras únicamente en la parte frontal o pantalla.
- La temperatura ambiente donde que asegura el funcionamiento correcto va desde los 0 a los 50 °C.

2.2.4.2. Protocolo de comunicación

Este dispositivo cuenta con diferentes estándares de comunicación serie Ethernet IP, RS 232, RS 485/422 con posibilidad de transmisión hasta una distancia de 15 metros máxima por medio del uso de un conector D-Sub 9 pines.

De los estándares de comunicación que posee la HMI se utiliza el protocolo de comunicación Ethernet TCP/IP como vía de comunicación directa

de transmisión y recepción de datos de la pantalla con el PLC por lo anteriormente descrito en los criterios de selección.

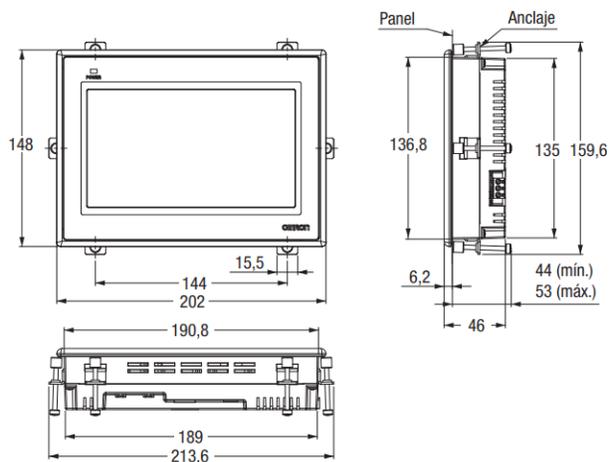
2.2.4.3. Software de programación

La pantalla NB7W-TW01B tiene la capacidad de ser reprogramada a conveniencia por el usuario. Esta pantalla se programa a través del *software* de programación NB-Designer.

2.2.4.4. Medidas de HMI

En la figura 34 se muestran las medidas de la Interfaz Humano Máquina HMI en milímetros, utilizada para realizar los cambios de parámetros en tiempo real en la máquina dosificadora de viscosos.

Figura 34. Medidas de pantalla HMI



Fuente: OMRON Corporation (2019). *Serie NB-HMI*. Consultado el 23 de febrero de 2022.

Recuperado de

https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/es/v17/v412_nb_series_hmi_datasheet_es.pdf

2.2.5. Switching Hub W4S1-05B

Es un concentrador conmutador desarrollado para trabajo en entornos de tipo industrial, utilizado como punto de conexión común para dispositivos a una misma red de área local (LAN) para poder transmitir/recibir datos por medio de una red Ethernet/IP, no requiere configuración alguna de *software*.

2.2.5.1. Funcionamiento

En el diseño proyecto se utiliza como punto de conexión común entre la HMI y el PLC. Es utilizado como conmutador para cargar actualizaciones realizadas en el programa de usuario del PLC como para la HMI.

Este dispositivo puede no ser incluido en el dimensionamiento, pero se tendría que desmontar constantemente la conexión de comunicación directa entre la HMI y el PLC cada vez que se requiera actualizar el programa de usuario en alguno de los 2 dispositivos. Con el uso del Switching hub W4S1-05B como un conmutador se crea una manera mucho más eficiente de transmisión/carga de datos sin desmontar la conexión entre en PLC y la HMI en ningún momento.

2.2.5.2. Características técnicas

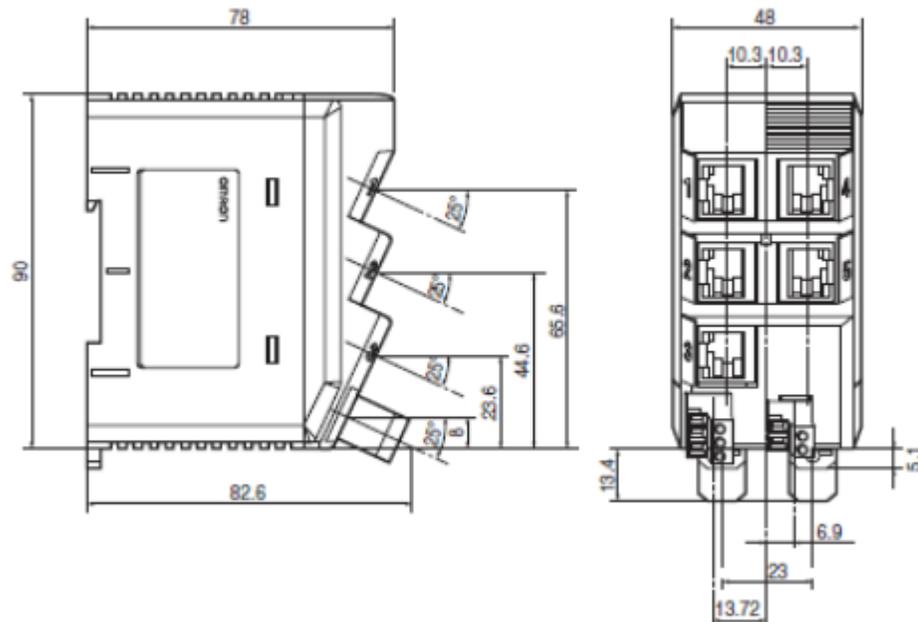
- Este dispositivo cuenta con 5 puertos de tipo RJ45 que cumplen con los estándares Ethernet/IP IEEE 802.3 10 BASET, 100 BASE TX.
- El método para montaje en panel es sobre riel Din.
- Necesita una alimentación por medio de fuente externa de 24 VDC \pm 5 %.
- Su consumo de potencia es de 5.28 W máximos.
- Capacidad para una corriente de *Inrush IP*=1.42 A.
- Velocidad de conmutación para sus puertos de 700 Mbps.

- Temperatura ambiente para operación de 0 a 55 °C.
- Humedad ambiente de operación 10 % a 90 % sin condensado.
- Temperatura ambiente para almacenamiento de -20 a 75 °C.
- Interfaz de comunicación Ethernet estándar.

2.2.5.3. Medidas

Las medidas del switching hub que se muestran en la figura 35, unidades de medición en milímetros.

Figura 35. Conmutador de 5 puertos



Fuente: OMRON Corporation (2019). *Switching hub W4S1-05B*. Consultado el 23 de febrero de 2022. Recuperado de <https://www.ia.omron.com/products/family/2005/dimension.html>.

2.2.6. Servoaccionamiento

El sistema de servomotor está formado por un servodrive que trabaja de manera coordinada con un servomotor conectado a través de un cable de potencia y un cable de encoder. El servodrive se encarga de mantener controlada la corriente suministrada al servomotor.

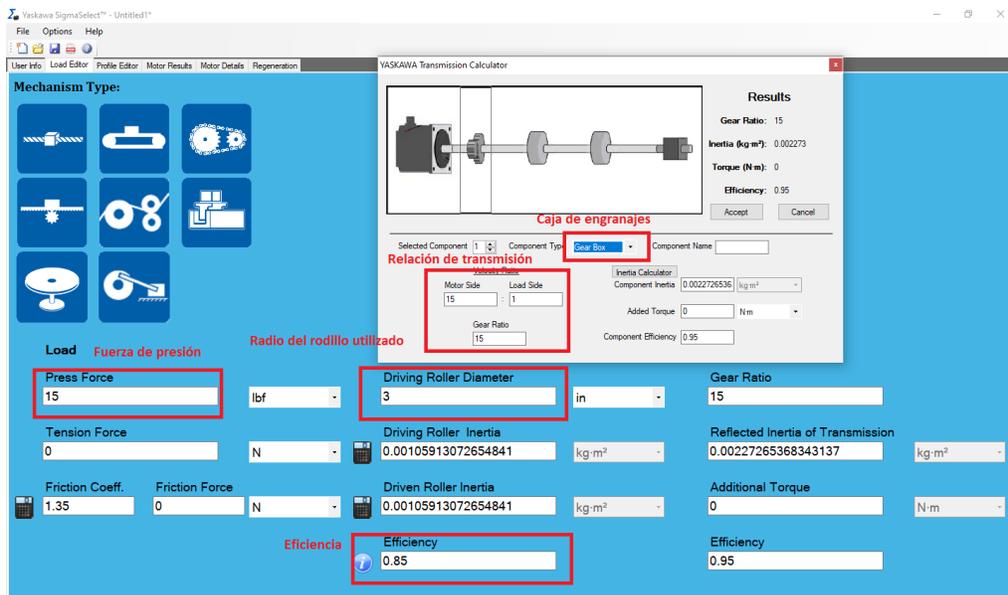
El *software* Yaskawa Sigma Select, es utilizado para determinar la velocidad máxima del motor y el torque máximo que este necesita para la aplicación a desarrollar.

El servomotor es utilizado para hacer un arrastre a medida del material de empaque (Film) de la máquina dosificadora, los datos recopilados durante la etapa de levantamiento son ingresados al *software*, para el dimensionamiento del servomotor con su servoaccionamiento por medio de gráficas generadas dentro del *software* Yaskawa Sigma Select como se muestra en las figuras 36, 37 y 38.

- Aplicación desarrollada: Arrastre de material a medida
 - Rodillos útiles para el arrastre de Film fabricados de material de aluminio de 3 In diámetro externo y 1.5 In de grosor.
 - Fuerza de presión para el material de empaque 15 lbf.
 - El peso de correa utilizada es despreciable.
 - Relación de transmisión 15:1.
 - Arrastre de material 6.5 In a 45 ciclos por minuto.
 - Eficiencia 85 %.
 - Voltaje Nominal de 240 VAC.

Con la información recopilada de la aplicación arrastre a medida se procede al ingreso de los datos al *software* Yaskawa Sigma Select para poder determinar el servomotor adecuado para la aplicación de arrastre a medida, este *software* ayudará a determinar la velocidad y el torque que se necesita para el desarrollo de la aplicación, el ingreso de los datos se muestra en la figura 36.

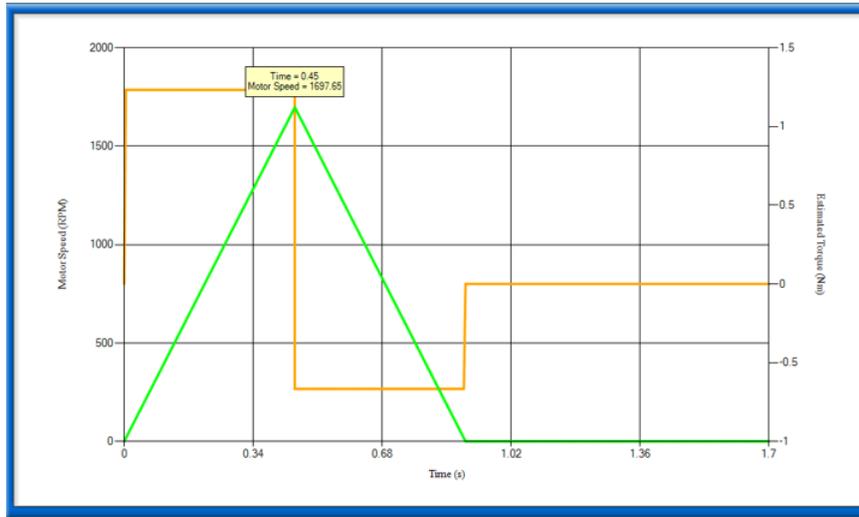
Figura 36. **Software de dimensionamiento**



Fuente: elaboración propia, realizado con Yaskawa SigmaSelect V 1.0.9.6.

Ingresados los datos el programa genera un gráfico de torque versus velocidad como se muestra en la figura 37, donde se identifica el valor de la velocidad máxima solicitada por el servomotor según la aplicación analizada que en este caso es el arrastre a medida.

Figura 37. Velocidad máxima

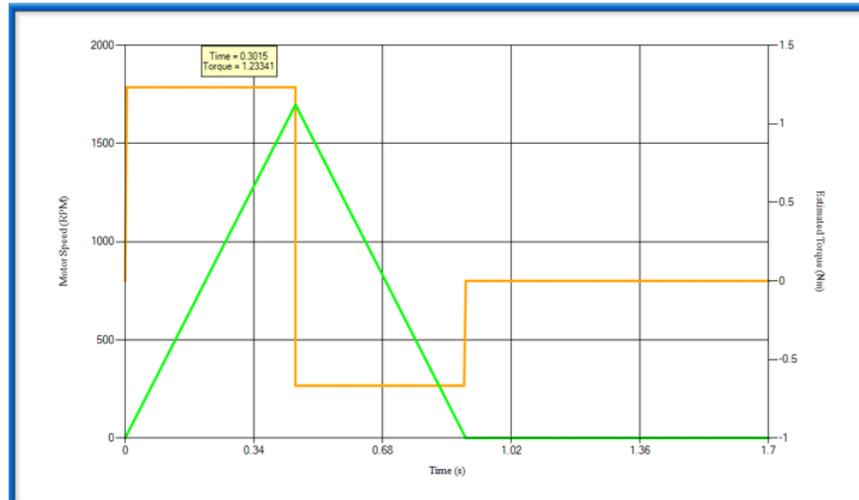


Fuente: elaboración propia, realizado con Yaskawa SigmaSelect V 1.0.9.6.

También se genera otra grafica que determina el valor del torque máximo solicitado por la aplicación arrastre a medida, la gráfica de toque se muestra en la figura 38

En la gráfica 38 encontramos el valor del torque máximo para la aplicación de arrastre a medida de 1.23 Nm y la velocidad máxima para esta aplicación es de 1,698 RPM como se muestra en la figura 37. Con esta información se procede a seleccionar un servomotor que se adecue a estos requerimientos.

Figura 38. Torque máximo



Fuente: elaboración propia, realizado con Yaskawa SigmaSelect V 1.0.9.6.

2.2.6.1. Servomotor R88M-1M40030T-S2

Se dimensiona un servomotor de la familia 1S, este tipo de servomotor es compatible con el controlador lógico programable NX1P2 lo que facilita el envío de información para el control por servodrive.

Para el dimensionamiento del servomotor se utilizan los datos de velocidad de 1,698 RPM y torque de 1.23 Nm

La velocidad y torque de un servomotor se encuentran en la hoja de datos que proporciona el fabricante.

En la figura 39 se muestran los posibles servomotores que se pueden elegir. La aplicación requiere de un torque máximo de 1.23 Nm y una velocidad máxima de 1,696 RPM.

Figura 39. Servomotores familia 1S

1S servo motor						1S servo drive	
Appearance	Speed	Voltage	Rated torque	Capacity	Model		
	3000 min ⁻¹	230 V	0.318 Nm	100 W	R88M-1M10030(H/T)-□	R88D-1SN01H-ECT	
			0.637 Nm	200 W	R88M-1M20030(H/T)-□	R88D-1SN02H-ECT	
			1.27 Nm	400 W	R88M-1M40030(H/T)-□	R88D-1SN04H-ECT	
			2.39 Nm	750 W	R88M-1M75030(H/T)-□	R88D-1SN08H-ECT	
			3.18 Nm	1 kW	R88M-1L1K030(H/T)-□	R88D-1SN15H-ECT	
			4.77 Nm	1.5 kW	R88M-1L1K530(H/T)-□	R88D-1SN15H-ECT	
		400 V	2.39 Nm	750 W	R88M-1L75030C-□	R88D-1SN10F-ECT	
			3.18 Nm	1 kW	R88M-1L1K030C-□	R88D-1SN10F-ECT	
			4.77 Nm	1.5 kW	R88M-1L1K530C-□	R88D-1SN15F-ECT	
			6.37 Nm	2 kW	R88M-1L2K030C-□	R88D-1SN20F-ECT	
			9.55 Nm	3 kW	R88M-1L3K030C-□	R88D-1SN30F-ECT	
			4.77 Nm	1 kW	R88M-1M1K020(H/T)-□	R88D-1SN15H-ECT	
	2000 min ⁻¹	230 V	7.16 Nm	1.5 kW	R88M-1M1K520(H/T)-□	R88D-1SN15H-ECT	
			1.91 Nm	400 W	R88M-1M40020C-□	R88D-1SN06F-ECT	
		400 V	2.86 Nm	600 W	R88M-1M60020C-□	R88D-1SN06F-ECT	
			4.77 Nm	1 kW	R88M-1M1K020C-□	R88D-1SN10F-ECT	
			7.16 Nm	1.5 kW	R88M-1M1K520C-□	R88D-1SN15F-ECT	
			9.55 Nm	2 kW	R88M-1M2K020C-□	R88D-1SN20F-ECT	
			14.3 Nm	3 kW	R88M-1M3K020C-□	R88D-1SN30F-ECT	
			8.59 Nm	900 W	R88M-1M90010T-□	R88D-1SN15H-ECT	
			1000 min ⁻¹	230 V	8.59 Nm	900 W	R88M-1M90010C-□
19.1 Nm					2 kW	R88M-1M2K010C-□	R88D-1SN20F-ECT
400 V				28.7 Nm	3 kW	R88M-1M3K010C-□	R88D-1SN30F-ECT
				8.59 Nm	900 W	R88M-1M90010C-□	R88D-1SN10F-ECT
	19.1 Nm	2 kW		R88M-1M2K010C-□	R88D-1SN20F-ECT		
	28.7 Nm	3 kW		R88M-1M3K010C-□	R88D-1SN30F-ECT		

Fuente: OMRON Corporation (2019). 1S Servo motor. Consultado el 23 de febrero de 2022.
 Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v3/i189e_r88m-1_1s-series_servo_motor_datasheet_en.pdf.

El Servomotor que cumple con los requerimientos para la aplicación se encuentra encerrado en el recuadro rojo de la figura 39, en la misma figura el fabricante especifica el drive compatible para el control del servomotor.

2.2.6.2. Características técnicas

- Voltaje de alimentación de 230 VAC.
- Potencia nominal de salida 400 W.
- Torque nominal de salida 1.27 Nm.
- Máximo torque instantáneo 4.5 Nm.
- Corriente nominal 2.5 A.
- Corriente instantánea máxima 9.1 A.

- Velocidad nominal 3000 RPM.
- Voltaje de excitación 24 VDC.
- Posee un aislamiento de tipo F.
- Temperatura de ambiente de operación de 0 a 40 °C.
- Temperatura de ambiente de almacenamiento -20 a 65 °C.
- Humedad ambiente de operación 20 a 90 % sin condensado.
- Protección de tipo IP67.
- Resolución de *encoder* de 23 bits.

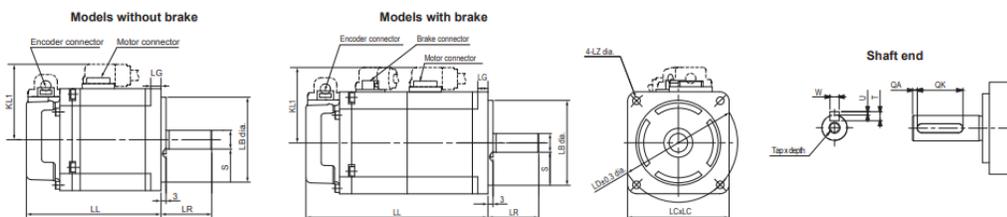
2.2.6.3. Medidas

En la figura 40 se muestran las medidas que corresponden al servomotor R88M-1M40030T-S2, las medidas se encuentran en milímetros.

Figura 40. Medidas servomotor

Type 3000 r/min motors (230 V, 200 W to 750 W)

Dimensions (mm)	Without brake		With brake		LR	Flange surface					Shaft end						Approx. mass (kg)		
	LL	KL1	LL	KL1		LB	LC	LD	LG	LZ	S	QA	QK	W	U	T	Tap x depth	Without brake	With brake
Model: R88M-1□																			
M20030(H/T)□S2	79.5	52.6	107.5	52.6	30	50 dia. $^{0}_{-0.025}$	60	70	6	4.5	11 dia. $^{0}_{-0.011}$	2	20	4 $^{0}_{-0.03}$	1.5 $^{0}_{-0.2}$	4	M4 x 10L	1.0	1.3
M40030(H/T)□S2	105.5		133.5			14 dia. $^{0}_{-0.011}$					14 dia. $^{0}_{-0.011}$			5 $^{0}_{-0.03}$	2 $^{0}_{-0.2}$	5	M5 x 12L	1.4	1.9
M75030(H/T)□S2	117.3	63.2	153	63.2	35	70 dia. $^{0}_{-0.03}$	80	90	8	6	19 dia. $^{0}_{-0.013}$	3	24	6 $^{0}_{-0.03}$	2.5 $^{0}_{-0.2}$	6		2.9	3.9



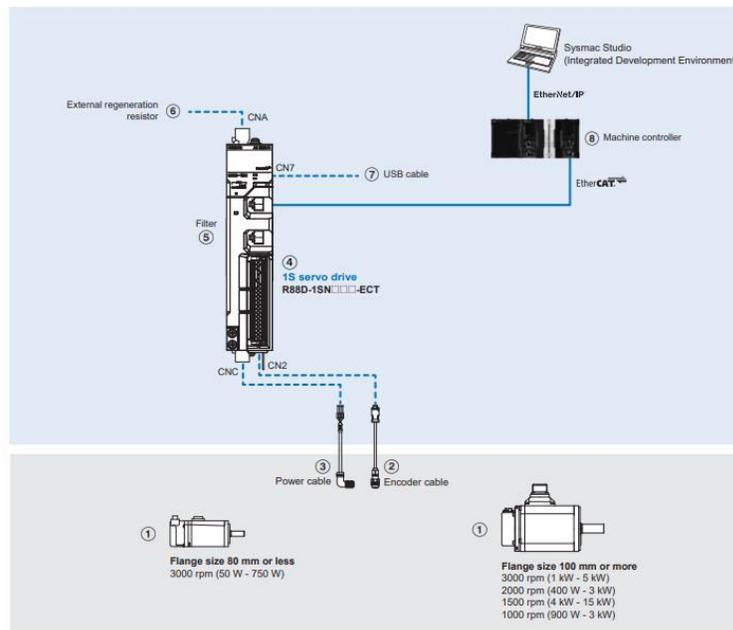
Fuente: OMRON Corporation (2019). *1S Servo motor*. Consultado el 23 de febrero de 2022.
 Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v3/i189e_r88m-1_1s-series_servo_motor_datasheet_en.pdf.

2.2.6.4. Servodrive R88D-1SN04H-ETC

En la figura 39 se muestra el servodrive compatible con el servomotor R88M-1M40030T-S2. El servodrive de la familia 1S R88D-1SN04H-ETC, es un dispositivo de propósito general que incorpora un codificador con resolución de 23 bits con conectores para facilidad de precableado y mantenimiento.

Para conectar el servodrive al servomotor se utilizan 2 cables especiales de conexión, el primero es el cable de alimentación de potencia y el segundo es el cable de *encoder* como se muestra en la figura 41, la forma de conexión hacia el controlador se realiza con protocolo de comunicación EtherCAT.

Figura 41. Diagrama de conexión



Fuente: OMRON Corporation (2019). *1S Servo drive*. Consultado el 23 de febrero de 2022.
Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v12/i188e_r88d-1sn_-ect_1s-series_servo_drive_datasheet_en.pdf.

2.2.6.5. Características técnicas

- Voltaje para circuito principal alimentación monofásica de 230 VAC a una frecuencia de 50/60 Hz.
- Corriente nominal de consumo o entrada 4.6 A.
- Corriente de salida nominal de 2.6 A con una salida máxima de corriente de 9.1 A.
- Servomotor aplicable y compatible con este drive es el motor R88M-1M40030 (T/H) que tiene velocidad de 3,000 r/min con una capacidad de potencia 400 W como lo indica la hoja de datos proporcionada por el fabricante.
- Voltaje de alimentación para control de circuito interno de 24 VDC con un rango de variación de 21.6 a 25.4 VDC.
- Temperatura ambiente de operación de 0 a 55 °C.
- Temperatura ambiente de almacenamiento.
- Humedad ambiente de almacenamiento 90 % sin condensado.
- Grado de protección IP20.
- Peso de 1.5 kg.

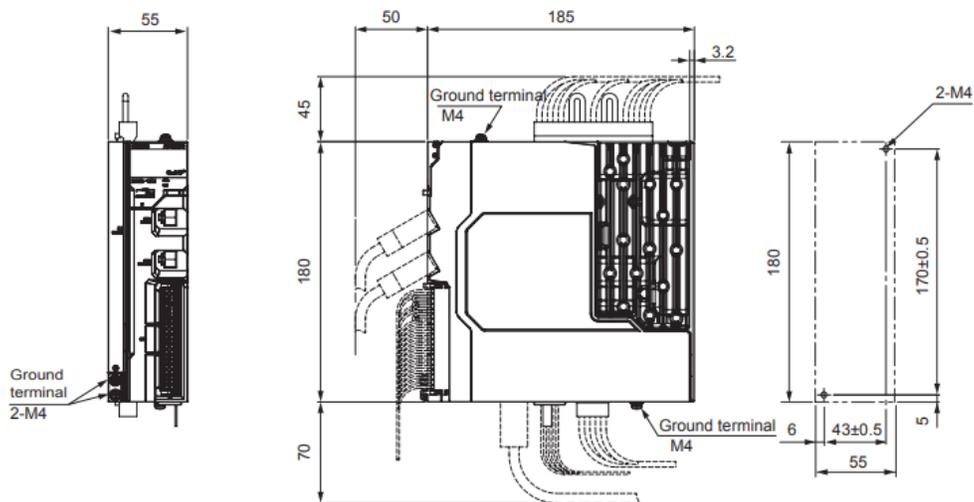
2.2.6.6. Protocolo de comunicación

El protocolo de comunicación EtherCAT es el utilizado por el Servodrive, es un protocolo estándar basado en el protocolo Ethernet y especializado para la automatización de máquinas que proporciona un alto rendimiento, su conector es de tipo RJ45. El PLC mantiene el control del servomotor por medio de instrucciones del programa de usuario almacenados en la memoria que son enviados al servodrive para ejecución de movimiento.

2.2.6.7. Medidas

Las medidas del servodrive se muestran en la figura 42, las medidas se encuentran en milímetros.

Figura 42. Medidas drive



Fuente: OMRON Corporation (2019). *1S Servo drive*. Consultado el 23 de febrero de 2022. Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v12/i188e_r88d-1sn_-ect_1s-series_servo_drive_datasheet_en.pdf.

2.2.7. Control de temperatura E5CC

Es un dispositivo electrónico para control de temperatura utilizado en el desarrollo del proyecto para mantener estable la temperatura del mecanismo de sellado horizontal en 198 °C y mecanismo de sellado vertical en 135 °C.

2.2.7.1. Funcionamiento

El control de temperatura E5CC posee un dispositivo visualizador de color blanco de gran tamaño que facilita la lectura a distancia de la temperatura, está diseñado con una entrada para termocupla y una salida para controlar la temperatura de la carga que se conecta.

La variación de temperatura entre selladores se debe a que el mecanismo de sellado horizontal adicional al sellado que realiza debe realizar el corte del material para separar un empaque de otro, el sellador vertical únicamente debe de cumplir con el sello vertical del empaque.

2.2.7.2. Características técnicas

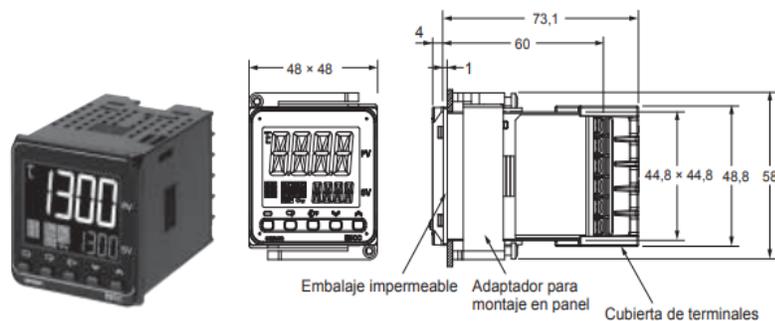
- Método de control a través de teclas ubicadas en el panel frontal.
- Tensión de alimentación de 100 a 240 VAC a 60 Hz con un rango de funcionamiento de 85 % al 110 % de la tensión nominal.
- Consumo de 70 mA máximo con voltajes de entre 100 y 240 VAC.
- Entrada de sensor de temperatura termocupla de tipo K, J, T, E, L, U, N.
- Entrada analógica de corriente de 4 a 20 mA o de 0 a 20 mA.
- Entrada analógica voltaje de 1 a 5 V, 0 a 5 V o 0 a 10 V.
- Impedancia de entrada de corriente de 150 Ω máximo y para tensión se tiene 1 M Ω mínimo.
- Métodos de control de temperatura ON/OFF o control tipo PID.
- Salida de control de tipo relé 250 V a 3 A con una vida eléctrica útil de 100,000 operaciones.
- El método de indicación se obtiene a través de un *display* de tipo digital de 11 segmentos e indicadores individuales para mostrar caracteres.
- La salida de control puede ser utilizada para control de calor/frío.

- Temperatura para ambiente de operación de -10 a 55 °C.
- Temperatura ambiente de almacenamiento de -25 a 65 °C.

2.2.7.3. Medidas

La figura 43 muestra las medidas del control de temperatura E5CC, las medidas se encuentran en milímetros.

Figura 43. **Medias E5CC**



Fuente: OMRON Corporation (2019). *Control de temperatura digital*. Consultado el 23 de febrero de 2022. Recuperado de <https://docs.rs-online.com/a402/0900766b8128f8d1.pdf>

2.2.8. Sensores inductivos

Los sensores utilizados son E2E-S05N03-WC-B1 de tipo inductivo, montados en lugares estratégicos, cumplen la función de detectar la posición de cada mecanismo descrito en la tabla II. La señal generada por el sensor es enviada al controlador para posteriormente realizar una acción indicada en el programa creado por el usuario.

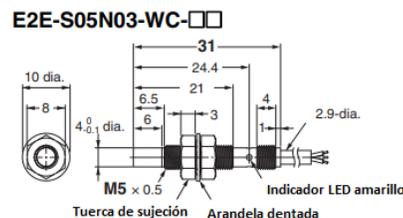
2.2.8.1. Características técnicas

- Distancia de sensado a 23 °C de 3 mm ± 10 %.
- Objeto detectable de material tipo ferroso.
- Frecuencia máxima de respuesta de sensado 2 KHz.
- Voltaje de alimentación de 10 a 30 VDC.
- Corriente de consumo de 10 mA.
- Modo de operación PNP normalmente abierto N.O.
- Temperatura ambiente de operación de -25 a 70 °C.
- Humedad de ambiente 35 % a 95 % sin condensado.
- Grado de protección según norma IEC 60529 IP67.
- Incorpora un indicador visual tipo led de color amarillo.

2.2.8.2. Medidas

Las medidas del sensor inductivo E2E-S05N03-WC-B1 se muestran en la figura 44, medidas dadas en mm.

Figura 44. Sensor de tipo inductivo



Fuente: OMRON Corporation (2019). *Small diameter Proximity Sensor E2E*. Consultado el 23 de febrero de 2022. Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v6/d115_e2e_small-diameter_proximity_sensor_datasheet_en.pdf.

2.2.9. Fuente de alimentación S8VK-G12024

Es una fuente de alimentación monofásica de 120 W de tipo conmutada, diseñada para trabajar en entornos industriales hostiles, su instalación es rápida y sencilla debido a su diseño compacto, el voltaje de alimentación de entrada varía de 100 -240 VAC a 1.6 A para proporcionar una salida de 24 VDC a 5 A.

Este equipo electrónico es utilizado para alimentación de corriente directa al PLC, al dispositivo de control del servodrive, para alimentación de switching hub y accionamiento de los relés. El consumo total de corriente DC es de 2.1 A, como se muestra en la tabla VI, se ha elegido la fuente de alimentación S8VK-G12024 de 5 A debido a que se ajusta a los requerimientos del proyecto.

Tabla VI. Consumo en corriente DC

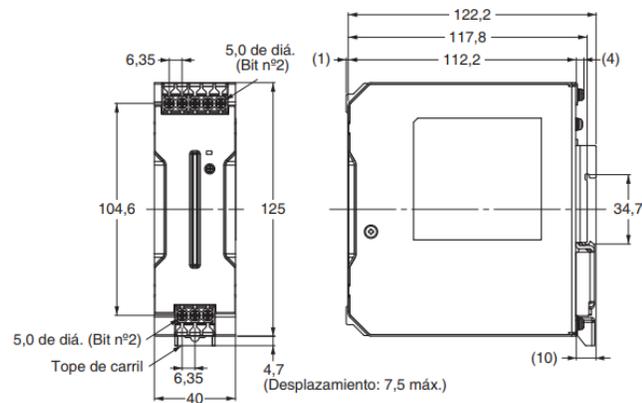
No.	Equipo	Cantida d	Voltaje [V]	Corriente [A]	Corriente total [A]
1	PLC	1	24	0.27	0.27
2	Módulo de alimentación	1	24	0.035	0.035
3	Módulo de salida	1	24	0.042	0.042
4	Switching hub	1	24	0.21	0.21
5	Control Servodrive	1	24	0.6	0.6
6	Relé	12	24	0.04	0.48
7	Pantalla HMI	1	24	0.46	0.46
Total					2.1

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

2.2.9.1. Medidas

En la figura 45 se muestran las medidas de la fuente de alimentación S8VK-G12024, medidas dadas en milímetros.

Figura 45. Fuente de alimentación



Fuente: OMRON Corporation (2019). *Fuente de alimentación conmutada S8VK-G*. Consultado el 26 de febrero de 2022. Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/es/v9/t056_s8vk-g_switch_mode_power_supply_datasheet_es.pdf.

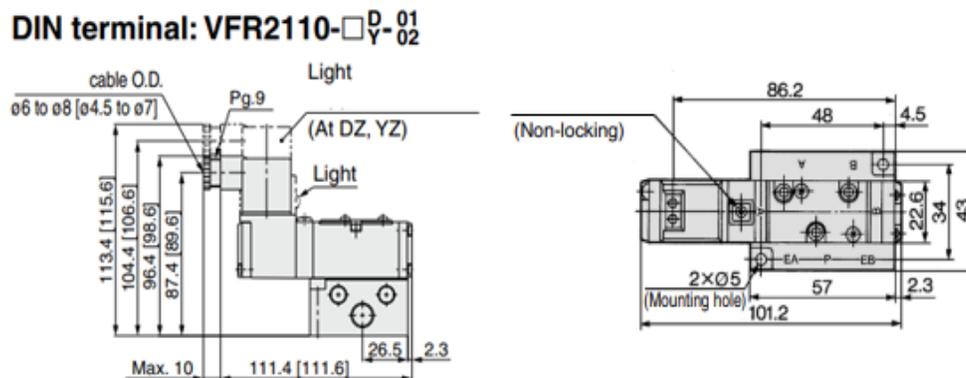
2.2.10. Electroválvulas VFR2110R3DY01

Las electroválvulas VFR2110R3DY01, son utilizadas para accionar los mecanismos descritos en la tabla III, es importante indicar que es un conjunto de válvulas montadas sobre una base conocida como *manifold* con espacio para 8 estaciones correspondientes a la cantidad de electroválvulas utilizadas en el proyecto. El voltaje de alimentación de la bobina es 120 VAC con un consumo de corriente de 0.028 A.

2.2.10.1. Medidas

Las medidas mostradas en la figura 46 corresponden a la electroválvula VFR2110R3DY01, cada medida se encuentra en milímetros.

Figura 46. Electroválvula



Fuente: SMC Corporation (2018). *5 Port Solenoid Valve VFR2000 Series*. Consultado el 27 de febrero de 2022. Recuperado de <https://content2.smcetech.com/pdf/VFR.pdf>.

2.3. Dimensionamiento de equipo eléctrico

En este apartado se hace el análisis de la corriente de consumo del sistema eléctrico, con el objetivo de elegir adecuadamente los equipos eléctricos de proporcionar protección a los dispositivos electrónicos.

2.3.1. Corriente de total de consumo

El cálculo de la corriente total consumida es importante debido a que el valor total se utiliza para elegir correctamente el calibre de conductor para el transporte de la corriente eléctrica hacia el panel y dentro del panel de control.

La tabla VII muestra la corriente de consumo de cada equipo, la corriente de los equipos se suma para obtener la corriente total de consumo del sistema eléctrico.

Tabla VII. Corriente total AC

No.	Equipo	Cantidad	Voltaje[V]	Corriente[A]	Corriente total [A]
1	Control de temperatura	3	208	0.07	0.21
2	Servodrive	1	208	4.6	4.6
3	Fuente de alimentación	1	208	1.6	1.6
4	Bobina de contactores	3	208	0.045	0.18
5	Electroválvulas	8	108	0.028	0.23
6	Resistencia eléctrica	2	208	2.5	5
				Total	11.82

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

En la tabla VII no se considera el consumo de corriente de la HMI, del Control Lógico Programable (PLC), de los módulos del PLC y los relés debido a que estos equipos dependen de la corriente DC que proporciona la fuente de alimentación S8VK-G12024.

De la tabla VII la corriente total de la instalación eléctrica de 11.82 A, el calibre de conductor adecuado para la instalación es el AWG 14 que tiene capacidad de 20 A a temperatura 60 °C.

Para dispositivos de alimentación DC calibre de conductor adecuado es el AWG 18 con capacidad de 14 A. Selección de conductor basado en tabla 310.16 de normativa NEC NFPA 70E.

2.3.2. Equipos de protección

En este apartado se seleccionan los equipos de protección necesarios para aislar el sistema eléctrico de la máquina dosificadora ante cualquier falla que pueda suscitarse, minimizando el daño a los equipos eléctricos que forman parte del sistema de control.

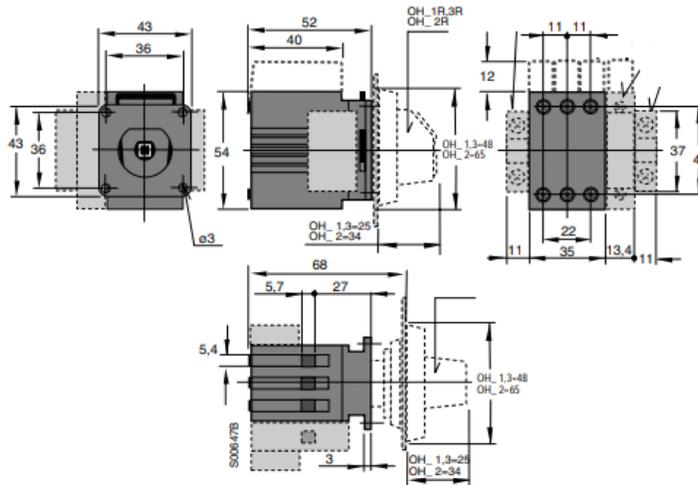
2.3.2.1. Seccionador

Se utiliza un seccionador de tipo manual para interrumpir la corriente de forma manual durante la etapa de mantenimiento, el dispositivo colocado es el 1SCA022283R8470 para montaje en puerta con capacidad de 16 amperios, para una corriente total de consumo de 11.82 A como lo indica la tabla VII, el control de voltaje del seccionador es de hasta 600 VAC.

2.3.2.1.1. Medidas

Las dimensiones del seccionador utilizado se muestran en la figura 47, las medidas se encuentran en milímetros.

Figura 47. **Seccionador**



Fuente: ABB Corporation (2019). *SwitchLine, Switch-Disconnectors / Load Break Switches OT16*. Consultado el 27 de febrero de 2022. Recuperado de <https://docs.rs-online.com/fdfe/0900766b806786e0.pdf>.

2.3.2.2. **Breakers S203-C16**

El *breaker* principal se dimensiona tomando como base la corriente total de consumo de la tabla VII, el *breaker* principal se dimensiona a 125 % de su carga continúa basado en normativa NEC 210 artículo 20, por lo que el *breaker* principal queda dimensionado de la siguiente manera.

Corriente de consumo total 11.82 A

Ecuación 1:

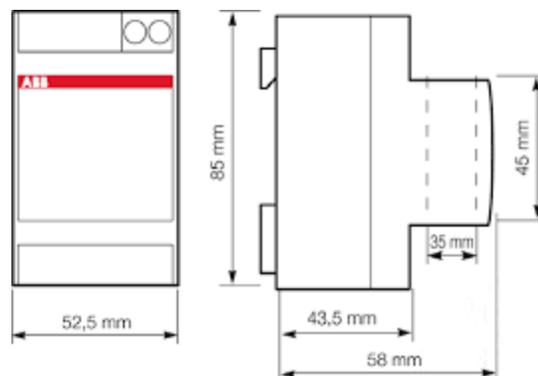
$$11.82 A \times 125 \% = 14.78 A$$

El *breaker* adecuado para esta cantidad de corriente es el *breaker* S203-C16, de tipo compacto con control de voltaje de hasta 440 VAC a frecuencia nominal de 50/60 Hz con corriente de 16 A.

2.3.2.2.1. Medidas

Las dimensiones del *breaker* principal se muestran a continuación, las medidas se encuentran en milímetros.

Figura 48. **Breaker**



Fuente: ABB corporation (2019). *Soluciones eléctricas interruptores S200*. Consultado el 27 de febrero de 2022. Recuperado de <https://ecoilumina.com.mx/pdf/abb.pdf>.

2.3.2.3. Guardamotor MS116-6.3

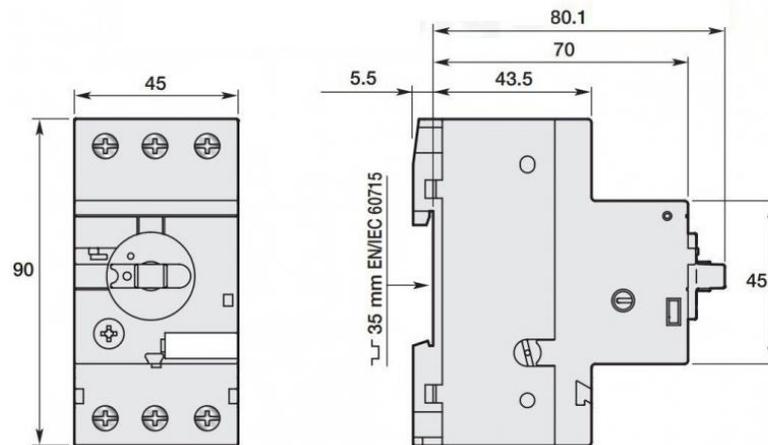
El guardamotor es un dispositivo de protección electromecánico, se utiliza para protección contra posibles cortocircuitos, sobrecargas o posibles fallos de fase en el servomotor.

La corriente a controlar es de 4.6 amperios, el guardamotor que cumple con los requerimientos mínimos es el MS116-6.3, cuenta con control de voltaje de hasta 400 VAC con potencia operativa nominal de 2.2 kW y corriente ajustable de 4.0 a 6.3 A.

2.3.2.3.1. Medidas

Las dimensiones del guardamotor se muestran en la figura 49, las medidas se encuentran en milímetros.

Figura 49. **Guardamotor**



Fuente: ABB Corporation (2019). *Guardamotor*. Consultado el 27 de febrero de 2022.

Recuperado de

<https://shop13004.hdisadjdkh.ru/content?c=guardamotor%20abb%20ms116&id=31>.

2.3.2.4. Contactores

El contactor es un dispositivo utilizado para el control de voltaje de las resistencias industriales de calentamiento colocadas en los mecanismos selladores de la máquina dosificadora, se tiene un control de voltaje de hasta 400 V y una corriente de 6 A, el contactor adecuado para esta aplicación es el LC1K0610F7, categoría de empleo AC-1 para dispositivos con factor de potencia de al menos 0.95.

2.3.2.4.1. Medidas

Las dimensiones del contactor se muestran en la figura 50, las medidas se encuentran en milímetros.

Figura 50. Contactador



Fuente: Schneider Electric (2018). *Contactador*. Consultado el 27 de febrero de 2022. Recuperado de <https://www.camei.com.ec/shop/product/se-lc1k0610f7-minicontactor-3-polos-6a-bobina-110vac-1na-ac3-2290?page=4&category=224>.

2.3.2.5. Relé electromecánico

El relé electromecánico miniatura MY2IN, es un dispositivo de propósito general, utilizado como protección de salidas del PLC ante cualquier imprevisto como un cortocircuito o sobrecorriente. Este relé se encargó de accionar la electroválvula de los mecanismos descritos en la tabla III.

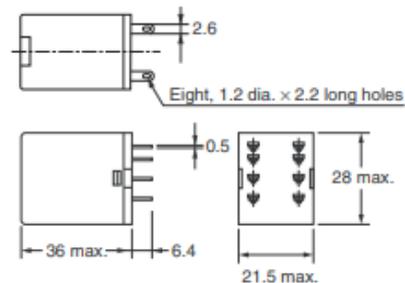
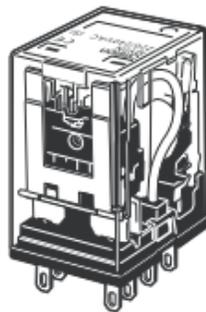
Su voltaje nominal de funcionamiento es de 24 VDC y la corriente máxima soportada en sus contactos es de 10 A.

2.3.2.5.1. Medidas

Las dimensiones del relé MY2IN se muestran en la figura 51, las medidas se encuentran en mm.

Figura 51. Relé electromecánico

MY2N



Fuente: OMRON Corporation (2019). *Relé MY2N*. Consultado el 27 de febrero de 2022.
Recuperado de <https://www.tme.eu/Document/aa93a2921b22bb662c2caf9debf349cc/MY2-IN.pdf>.

2.3.2.6. Fuente UPS GXT4-3000RT208

La UPS industrial GXT4-3000RT208 es la fuente de alimentación sin interrupción que suministrará energía a la instalación eléctrica de la máquina por medio de baterías de respaldo de almacenamiento de energía eléctrica incorporadas en su interior, este dispositivo se accionará en presencia de una falla en el suministro principal de energía eléctrica.

La selección de la fuente UPS es necesaria para evitar que los cortes de energía eléctrica inesperados puedan provocar daños irreparables al equipo electrónico de la máquina dosificadora o para evitar que las fallas eléctricas puedan ocasionar las pérdidas de datos que puedan desconfigurar los parámetros establecidos en la máquina.

2.3.2.6.1. Dimensionamiento UPS

Para poder proceder a la selección correcta de la UPS se debe considerar la potencia aparente consumida por la instalación eléctrica de la máquina.

El cálculo de la potencia aparente de la instalación se muestra en la ecuación 2, la potencia aparente está dada por la letra S , V_{Ins} es el voltaje de la instalación de 208 VAC monofásicos e I_{total} es la corriente total consumida por la instalación eléctrica, según la tabla VII es de 11.82 A.

Ecuación 2:

$$S = V_{Ins} * I_{total} = (208 V) * (11.82 A) = 2,458.56 VA$$
$$S \approx 2,459 VA$$

Previo a seleccionar la UPS se debe realizar un sobredimensionamiento del 20 % de potencia aparente, por tema de escalabilidad futura e incorporación de módulos de E/S y los dispositivos que se deseen colocar en estos.

Finalmente, el valor de la potencia aparente final (S_f) utilizada para selección de la UPS correcta está determinado por la ecuación 3:

Ecuación 3:

$$S_f = S * 125 \% = (2,459 V) * (120 \%) = 2,950.8 VA$$

$$S_f \approx 2,951 VA$$

La UPS tipo industrial que cumple con la potencia de 2,951 VA es la UPS de valor comercial de potencia aparente de 3 KVA/2.7 KW de capacidad código GTXT4-3000RT208 con voltaje de entrada y salida de 208 VAC

2.3.2.6.2. Tiempo de duración de UPS

El tiempo de duración de la UPS una vez puesta en marcha se determina por medio de la ecuación 4 mostrada a continuación.

Ecuación 4:

$$T_d = \left(\frac{N * V_b * AH * EF}{S} \right) * 60 [minutos] = \left(\frac{4 * 12 V * 5 AH * 0.9}{2,459 VA} \right) * 60 [minutos]$$

$$T_d = 5.27 minutos$$

Donde:

N = Numero de baterías incorporadas en la UPS = 4 Baterías

V_b = Voltaje de las Baterías = 12 V

AH = Amperios por hora = 5.0 AH

η = Eficiencia de la UPS = 90 %

2.4. Puesta a tierra de máquina dosificadora

Cualquier maquinaria industrial instalada dentro de una bodega, fabrica o industria debe de ir conectada sólidamente a tierra, esto se realiza con el objetivo principal de la protección de la vida del operador o usuario en presencia de condiciones de falla que puedan ocasionar peligro por choque eléctrico.

Con la puesta a tierra se protege al operador de quedar expuesto a potencial eléctrico altamente inseguro para su salud o en caso extremo que el potencial ocasione la perdida de la vida.

2.4.1. Características necesarias

Para la máquina dosificadora la puesta a tierra se realiza a través de un electrodo de puesta a tierra que debe cumplir con características descritas en la normativa guatemalteca NTDOID en sus artículos 31, 32 y 33, estas características se definen a continuación:

- La longitud del electrodo de puesta a tierra no debe de ser menor a los 2.40 m de longitud y 12.5 mm de diámetro.
- La sujeción al electrodo debe realizarse por medio de una abrazadera, soldadura permanentemente efectiva o por medio de un conector de material de bronce con rosca.
- Para los sistemas de únicamente 1 electrodo, la resistencia debe tener un valor máximo permitido de 25 Ω , velando en medida de lo posible sea lo más cercana a 0 Ω .

2.4.2. Valor de resistencia obtenida

La puesta a tierra para el sistema eléctrico de la máquina dosificadora cumple con las características descritas en la normativa guatemalteca NTDOID en sus artículos 31, 32 y 33 de criterios de diseño y seguridad.

La figura 54 muestra la medición de resistencia a tierra obtenida por medio del medidor AEMC *Ground Tester* modelo 3731, donde se observa que el valor de la resistencia a tierra obtenida tiene un valor 1.3 Ω , Valor que cumple con lo anteriormente descrito según normativa.

Figura 52. **Resistencia a tierra**



Fuente: [Noé Jeremías García]. (Taller mecánico, San miguel Petapa. 2021). Colección particular. Guatemala.

2.5. Dispositivos de mando y señalización

Estos dispositivos de mando son utilizados para dar inicio, indicar parada e incluso son utilizados para detener el proceso de la máquina dosificadora en cualquier momento en caso de presentarse alguna emergencia.

2.5.1. Botón de *Start*

El botón *Start* es utilizado para indicar al controlador dar inicio al proceso de dosificado y empacado de la máquina dosificadora.

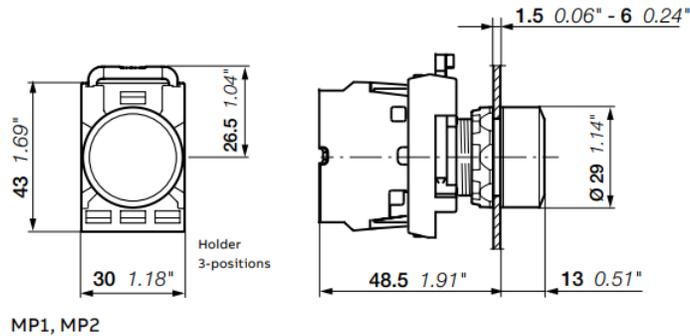
2.5.2. Botón de *Stop*

El botón *Stop* es utilizada para indicar al controlador que el proceso debe finalizar, presionado el botón de *Stop* el proceso buscará cumplir con el ciclo completo de dosificado y empacado previo a detener la máquina.

2.5.2.1. Medidas

Las dimensiones del botón de tipo modular se muestran en la figura 53, en esta figura se muestra el ancho, el largo y la profundidad, las medidas mostradas se encuentran dadas en milímetros y pulgadas.

Figura 53. **Dispositivo piloto**



Fuente: ABB Corporation (2019). *Dispositivos piloto*. Consultado el 28 de febrero de 2022.

Recuperado de

https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SFC151007C02__&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch

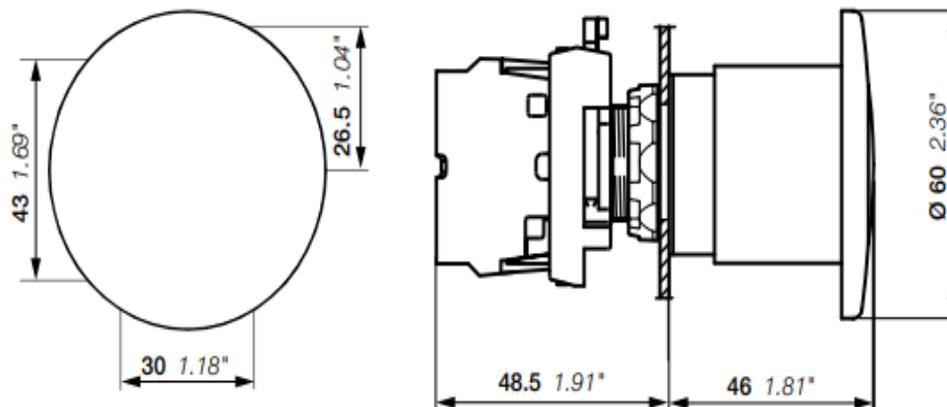
2.5.3. **Botón de paro de emergencia**

El botón paro de emergencia, a diferencia del botón *Stop* cumple con el propósito de detener la máquina en cualquier punto del proceso o ciclo de la máquina, se utiliza como método de seguridad ante cualquier imprevisto o emergencia.

2.5.3.1. **Medidas**

En la figura 54, se muestran las medidas del botón paro de emergencia, las medidas se muestran en pulgadas y milímetros.

Figura 54. **Paro de emergencia**



Fuente: ABB Corporation (2019). *Dispositivos piloto*. Consultado el 28 de febrero de 2022.

Recuperado de

https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SFC151007C02__&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch.

2.6. **Dimensión de panel para sistema de control**

Para determinar las dimensiones finales del panel de control se utilizan las medidas de los equipos electrónicos y eléctricos (alto x largo x ancho) que formarán parte de la instalación eléctrica. Los equipos serán distribuidos dentro del panel de la manera más conveniente.

Los recuadros de la tabla en color azul son las medidas utilizadas para dimensionar el alto, ancho y profundidad respectivamente.

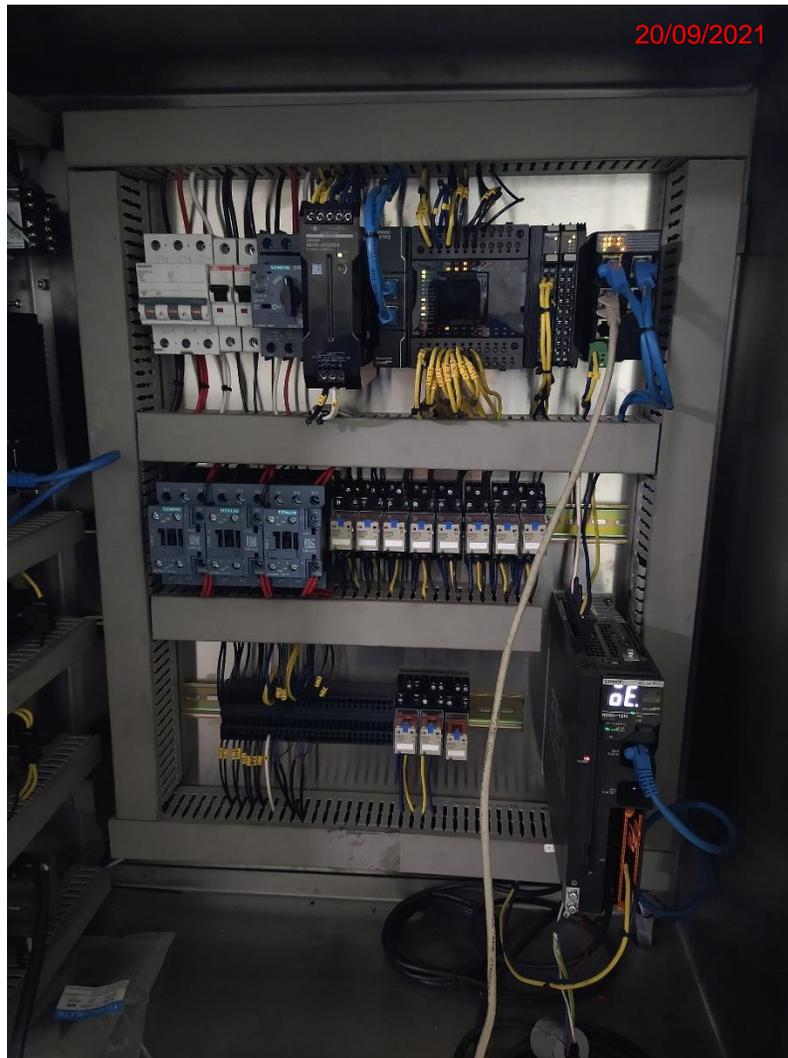
Tabla VIII. **Medidas del panel de control**

Equipo/Material	Alto(mm)	Ancho(mm)	Profundidad(mm)
PLC	107.5	130	71
Módulo de alimentación	12	104.5	71
Módulo de salida	12	104.5	71
Pantalla HMI	159.6	213.6	53
Switching hub	90	48	82.6
Servodrive	295	55	235
Control de temperatura	48	48	78.1
Fuente de alimentación	129.7	40	123.2
Seccionador	43	43	52
Breaker	85	52.5	58
Guardamotor	90	45	85.6
Contactora	58	45	57
Relé electromecánico	28	21.5	42.4
Paro de emergencia	60	60	93.5
Bornera	50	5	30
Espacios verticales cableado	180		
Espacios horizontales		70	
Espacios canaleta	120	120	65
Total	922.7	714.5	300

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

El panel para la instalación eléctrica del sistema de control debe tener 922.7 mm de alto, 714 mm de ancho y 300 mm de profundidad, el panel comercial que cumple con estos requerimientos es el estándar de medidas 1000 mm x 800 mm x 300 mm, de material acero inoxidable protección IP66. En la figura 55, se muestra la distribución cada equipo dentro del panel de control diseñado.

Figura 55. Panel de control



Fuente: [Noé Jeremías García]. (Taller mecánico, San miguel Petapa. 2021). Colección particular. Guatemala.

Los mandos de control y la pantalla se colocaron al lado lateral del gabinete de manera estratégica para tener un control más eficiente al momento de realizar ajustes.

Figura 56. **Panel de control vista lateral**



Fuente: [Noé Jeremías García]. (Taller mecánico, San miguel Petapa. 2021). Colección particular. Guatemala.

2.7. Panel de control de electroválvulas

Se realizó el dimensionamiento de un segundo panel con características de protección IP66 de acero inoxidable para las electroválvulas que son encargadas de activar los mecanismos de la máquina dosificadora. Para el cálculo de alto, ancho y largo se consideraron las medidas de la electroválvula de la figura 46.

El panel que más se adecua a los requerimientos es el gabinete con medidas estándar de 250 mm x 200 mm x 150 mm. La distribución de cada electroválvula dentro del panel se muestra en la figura 57.

Figura 57. **Panel de electroválvulas**

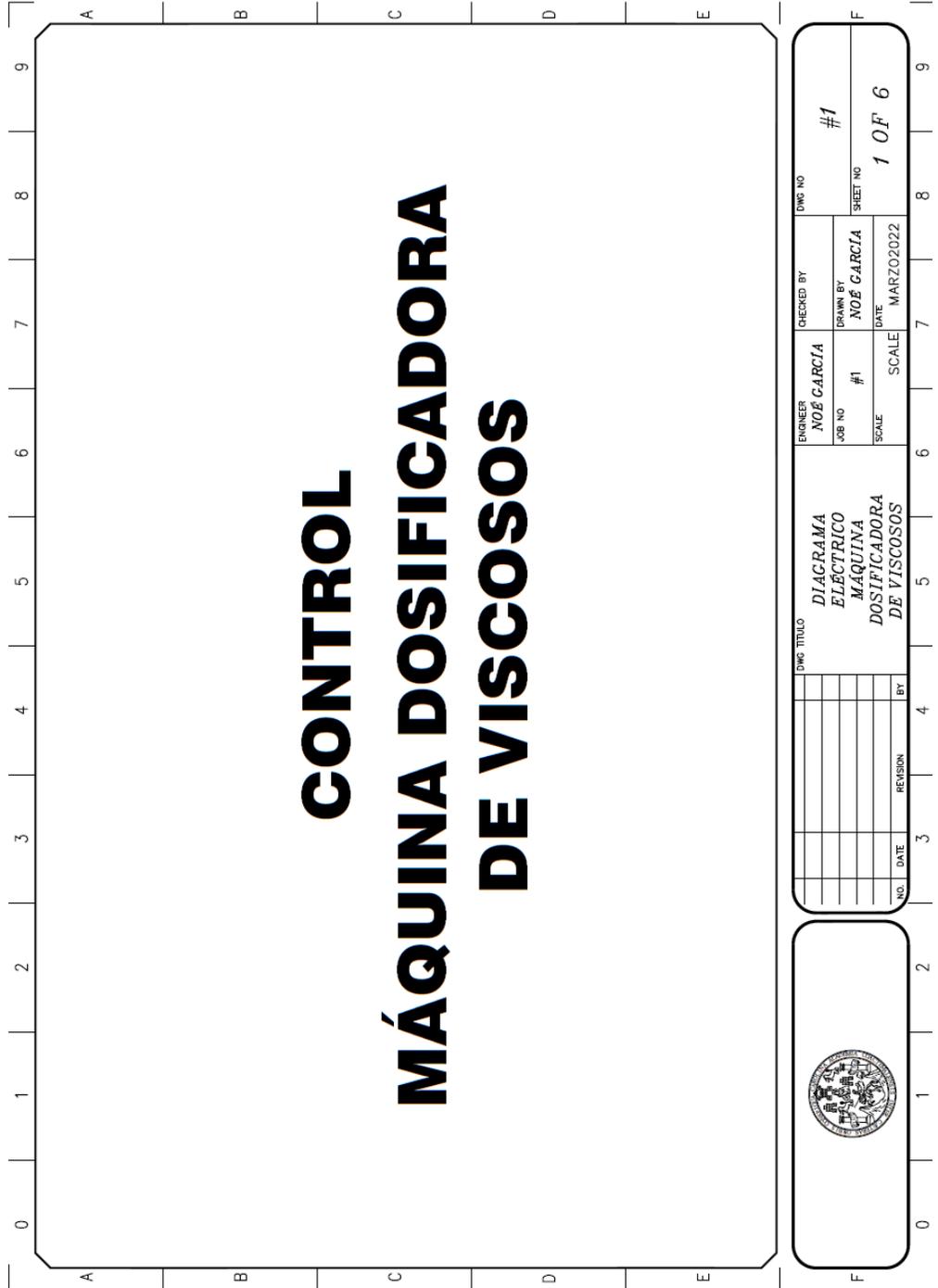


Fuente: [Noé Jeremías García]. (Taller mecánico, San miguel Petapa. 2021). Colección particular. Guatemala.

2.8. Diagramas del sistema eléctrico

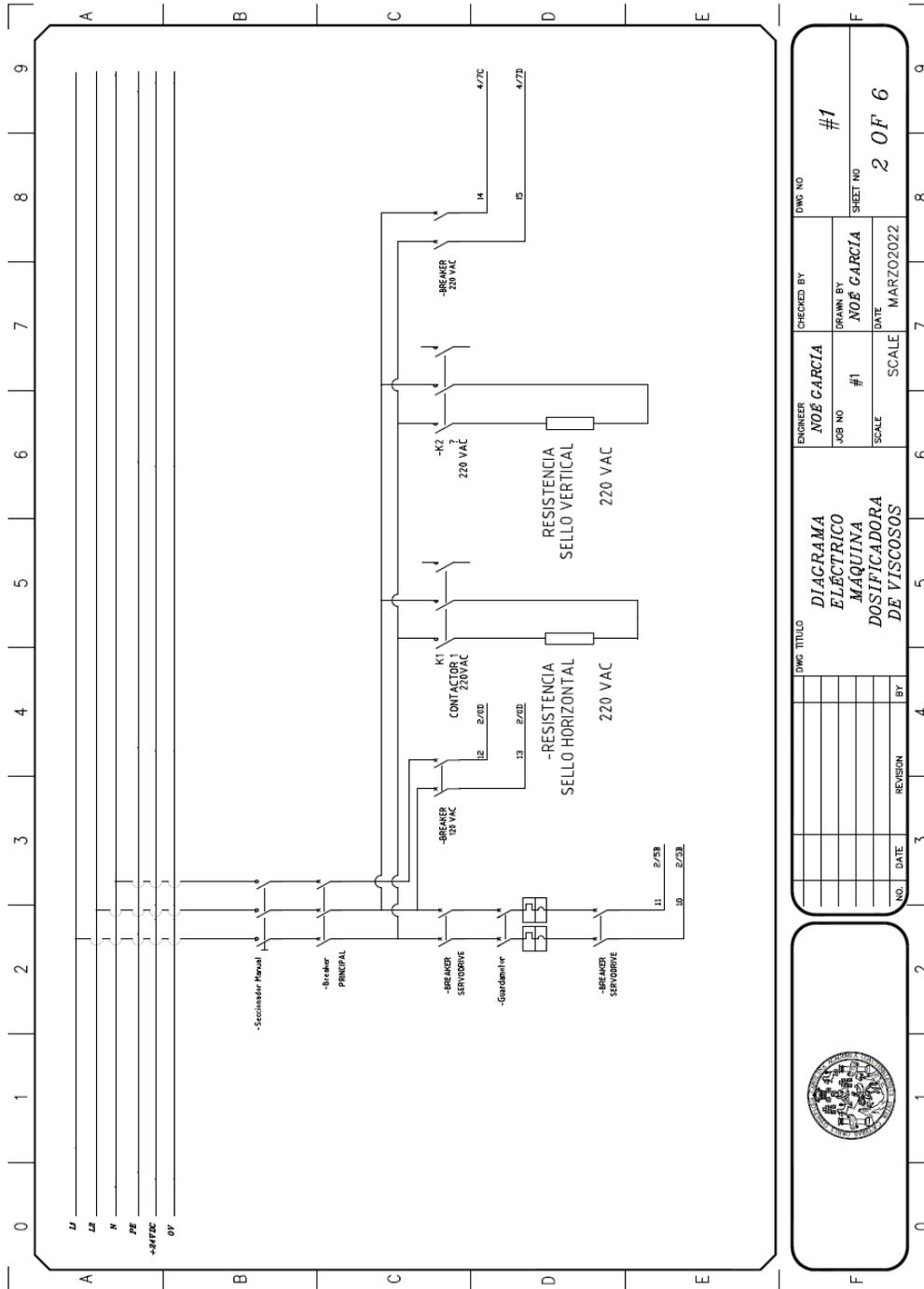
Las figuras de la 58 a la 63, muestran el diseño del plano del sistema eléctrico de la máquina dosificadora donde se incluyen los elementos eléctricos y electrónicos utilizados en el diseño de la instalación eléctrica.

Figura 58. Diagrama eléctrico I



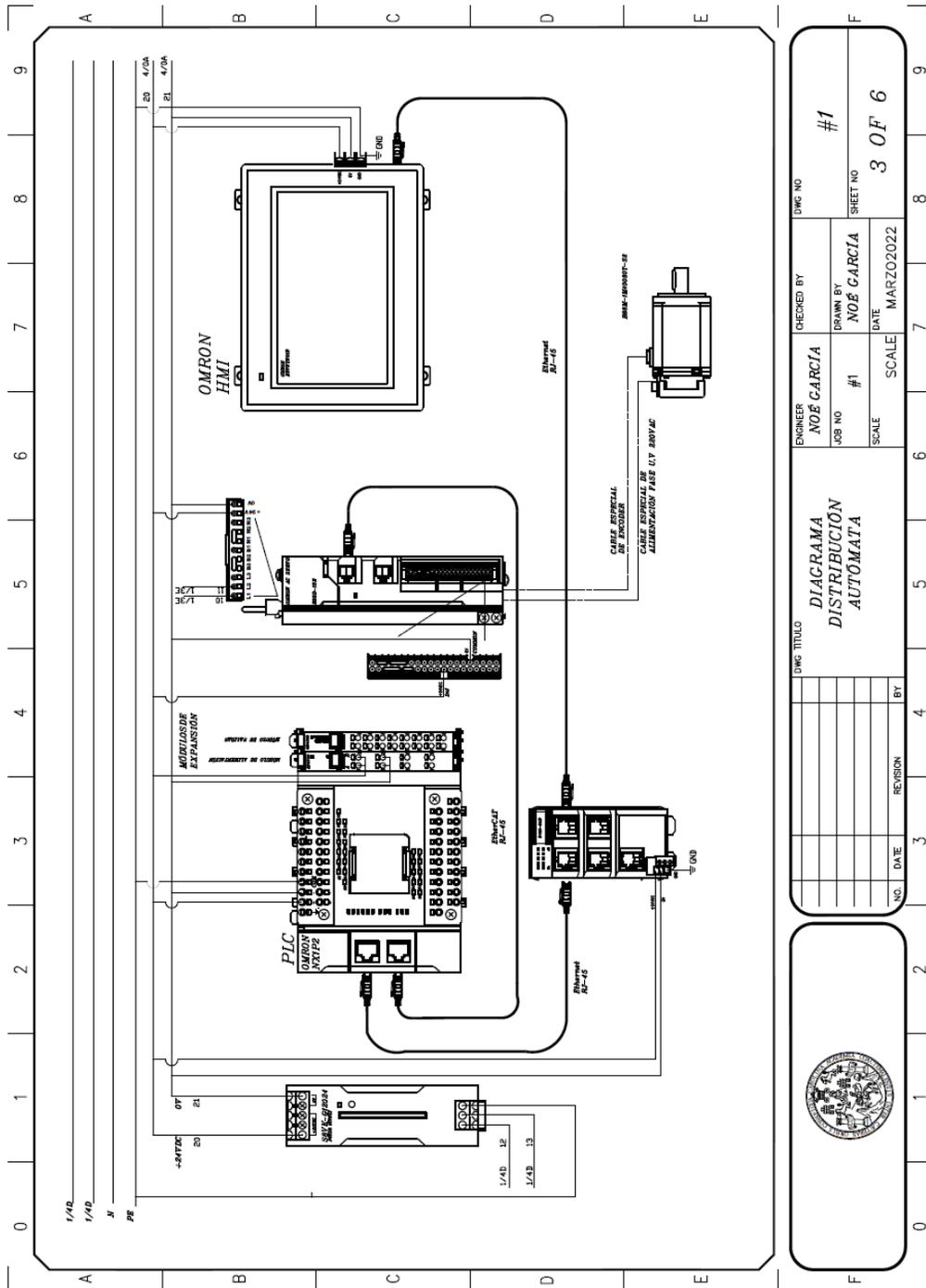
Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD Electrical 2022.

Figura 59. Diagrama eléctrico II



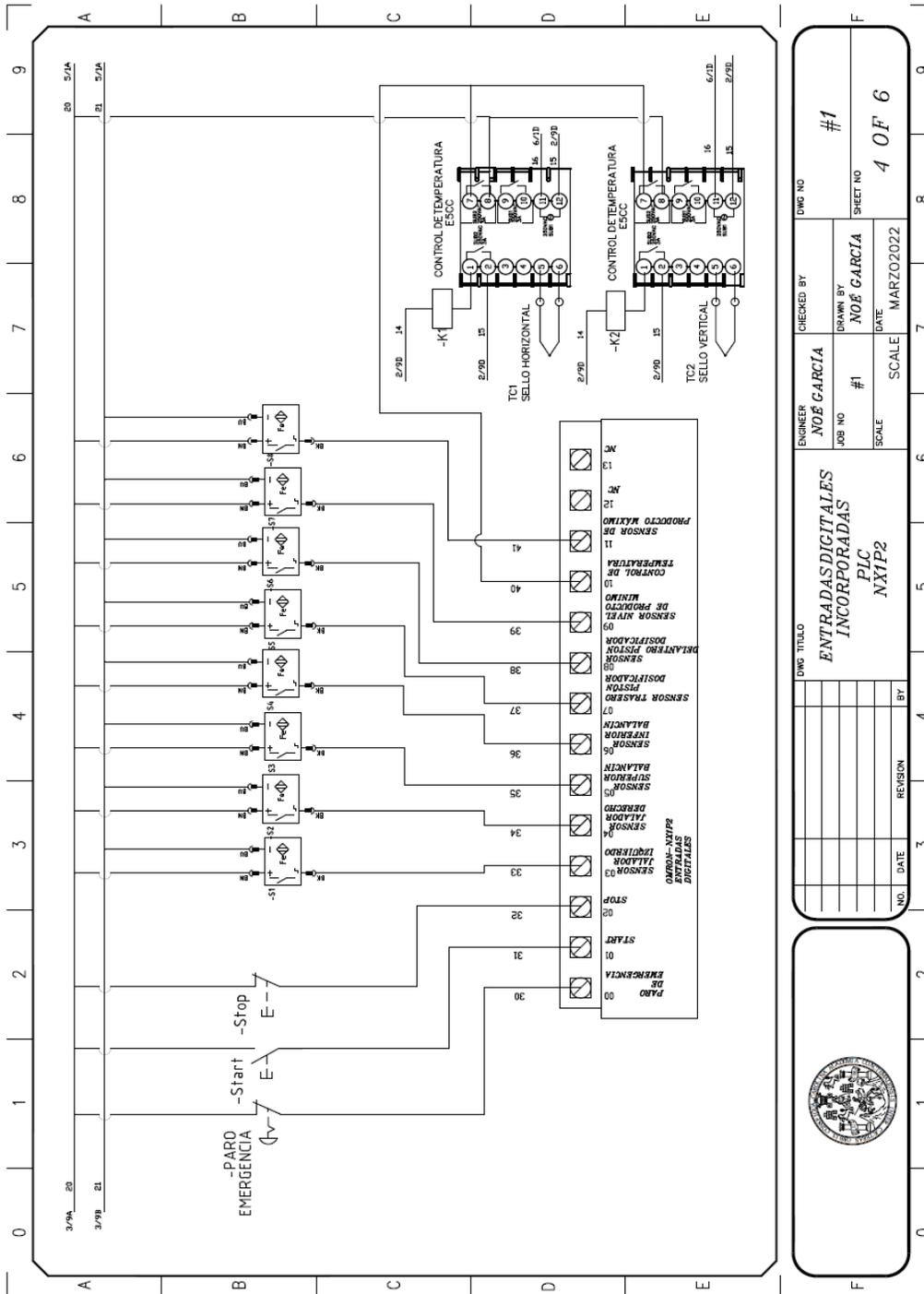
Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD Electrical 2022.

Figura 60. Diagrama eléctrico III



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD Electrical 2022.

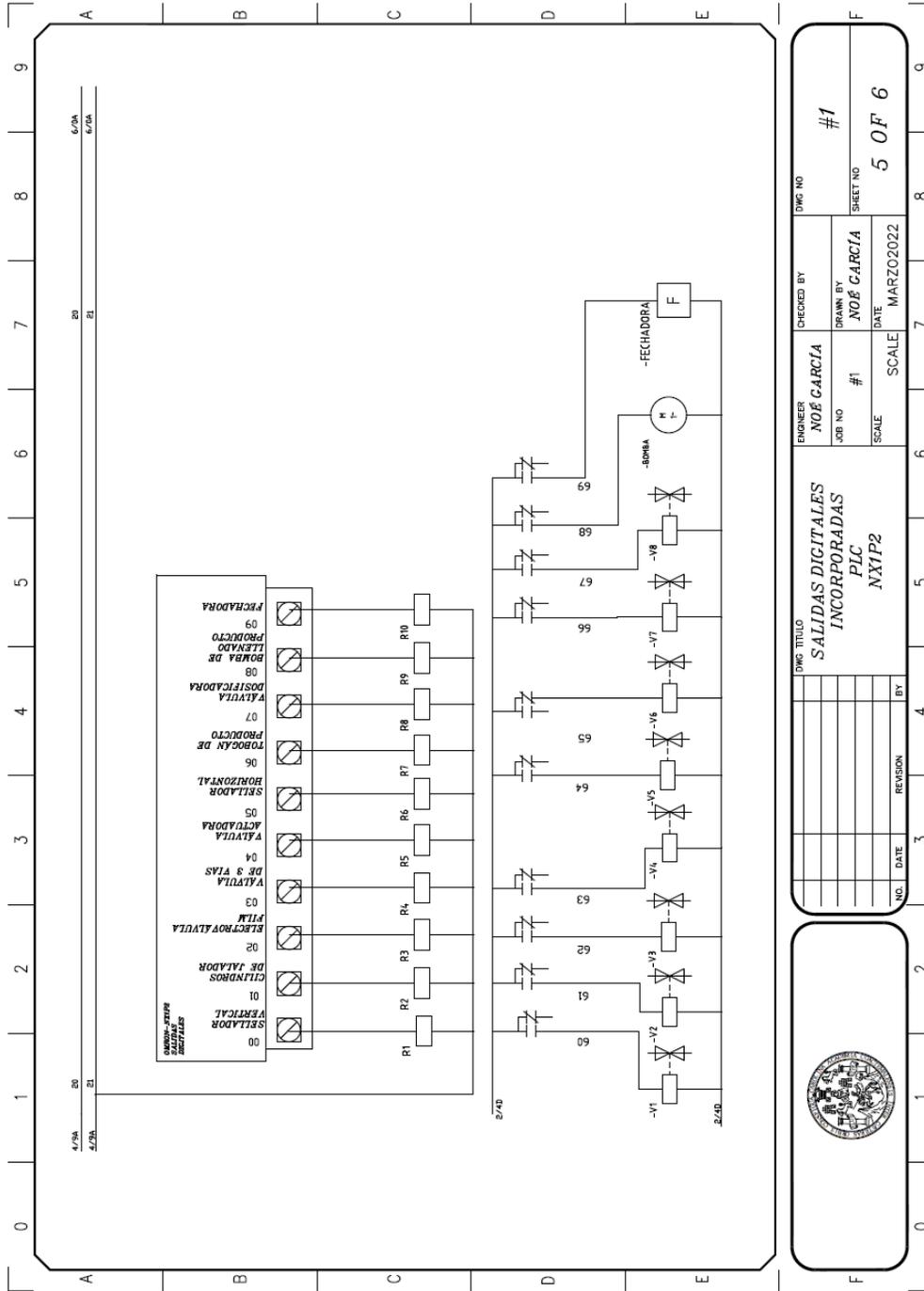
Figura 61. Diagrama eléctrico IV



		ENGINEER	NOE GARCIA	CHECKED BY	NOE GARCIA	DWG NO	#1
		JOB NO	#1	DRAWN BY	NOE GARCIA	SHEET NO	4 OF 6
NO.	DATE	REVISION	BY	SCALE	DATE		
					MARZO 2022		

Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD Electrical 2022.

Figura 62. Diagrama eléctrico V



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD Electrical 2022.

3. CONFIGURACIONES PARA SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

Durante el proceso de diseño y automatización del sistema de control de la máquina dosificadora es necesario hacer uso de un *software* de programación para configurar los parámetros principales de funcionamiento, para comunicación de dispositivos importantes como la pantalla HMI, el PLC o el servodrive.

Para configurar los parámetros básicos de comunicación entre el PLC y el servodrive se utilizó el programa Sysmac Studio, para las configuraciones o modificaciones realizadas a la HMI se utilizó el *software* NB- Designer, posterior a esto cada *software* se utilizó para la programación de los dispositivos.

3.1. Software Sysmac Studio

En la actualidad el programa de usuario utilizado para el funcionamiento de un autómeta se diseña por medio de un software de programación instalado en una computadora, posteriormente es cargado a la CPU del controlador para que pueda ser ejecutado.

La ventaja principal de este *software* es que una vez finalizado el diseño de programa se pueden ejecutar simulaciones por medio de un entorno virtual que viene incorporado.

Sysmac Studio es un *software* que proporciona un entorno de desarrollo integrado para poder realizar configuraciones, mantenimiento y programación de controladores de la familia Sysmac NJ/NX.

Sysmac Studio proporciona un entorno para configuración de comunicación con dispositivos para control de movimiento a través del protocolo de comunicación EtherCAT.

Figura 64. **Sysmac Studio series NJ/NX**



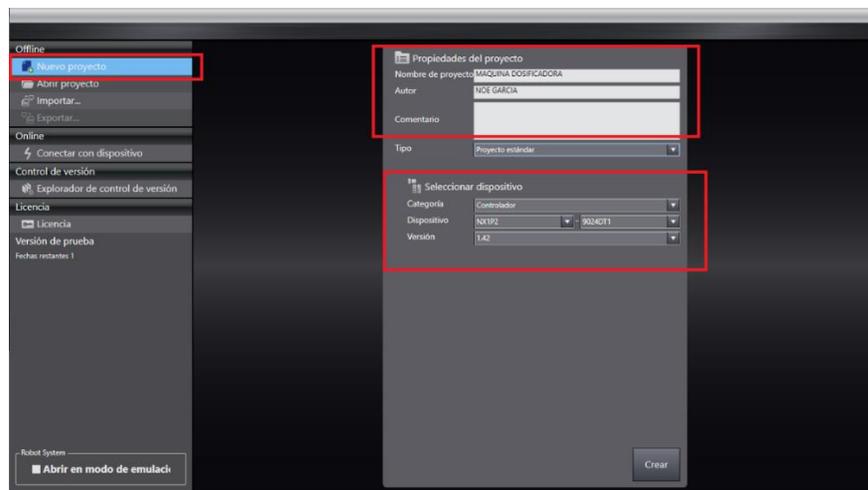
Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

3.1.1. **Crear un nuevo proyecto PLC**

El primer paso a realizar dentro del entorno de programación de Sysmac Studio es la creación de un nuevo proyecto, esto se logra por medio de la selección de una pestaña de la cinta de opciones de la pantalla de inicio del *software*, esta pestaña se ubica del lado superior izquierdo de la cinta de opciones como se muestra en la figura 65.

Al seleccionar la opción nuevo proyecto se abrirá una ventana de propiedades del proyecto donde se ingresa información básica como nombre del proyecto y autor del mismo. Posterior a eso debemos de seleccionar la CPU del dispositivo controlador para este caso el NX1P2-9024DT1, también se debe ingresar la versión del mismo como se muestra a continuación.

Figura 65. **Nuevo proyecto**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

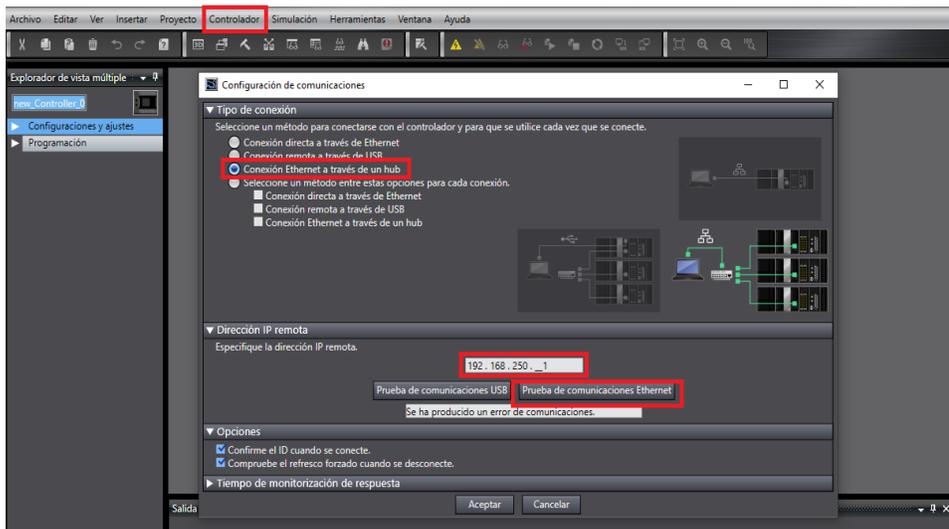
3.1.2. Configuración de comunicación

Para transferir configuraciones y parámetros básicos al PLC, se debe establecer la comunicación con el *software*. Una vez creado un nuevo proyecto como se muestra en la figura 65, el *software* se redirigirá a la interfaz de configuraciones/programación como se muestra en la figura 66.

En la cinta de opciones que se encuentra en la parte superior de la pantalla se debe seleccionar la opción controlador, se abrirá una pestaña de opciones donde se elegir la opción configuración de comunicaciones.

En el apartado Configuración de comunicaciones se ingresa el método para conectar con el dispositivo, en este caso se selecciona conexión Ethernet a través de un dispositivo *hub*, posterior a eso se ingresa la dirección IP que identifica al controlador y permite transferir o recibir datos entre los dispositivos que forman parte de la red de área local como se muestra en figura 66.

Figura 66. **Configuración de comunicación**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

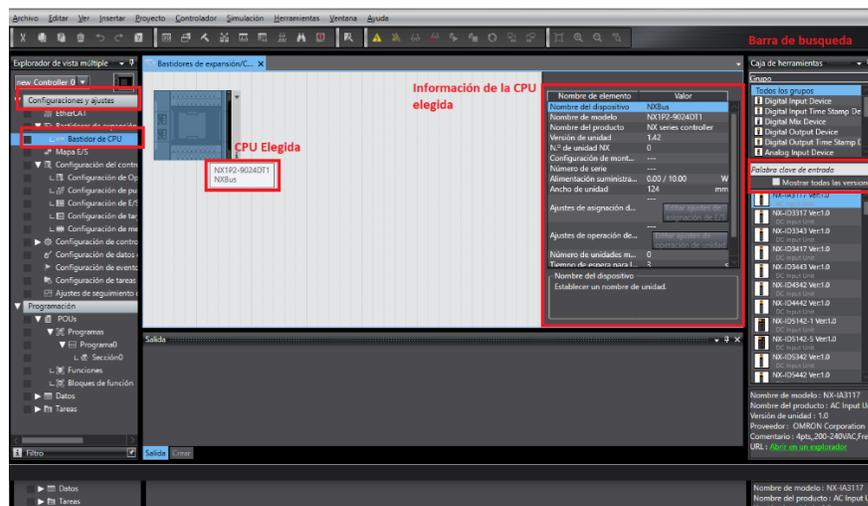
Ingresada la información descrita en el apartado anterior, se presiona la pestaña prueba de comunicaciones Ethernet, al presionarla aparecerá una pestaña indicando que la conexión con el controlador fue exitosa.

La dirección de protocolo de internet IP asignada al controlador debe ser 192.168.250.1 como se muestra en la figura 66 para lograr la comunicación con otros dispositivos, el fabricante le asigna esta dirección por defecto, esta dirección puede ser cambiada según sea la necesidad y cantidad de equipos conectados a la red de área local.

3.1.3. Bastidor de expansión/CPU

Al inicio al crear un nuevo proyecto se elige el tipo de CPU que se utilizará como se muestra en la figura 67, dentro del proyecto se encuentra una pestaña con el nombre configuración y ajustes, dentro de esta pestaña se encuentra la pestaña de bastidor de CPU, al dar clic a esta pestaña se ingresa a una interfaz de configuración gráfica donde se agregan los módulos de expansión adicionales, en este caso en particular se agrega un módulo de alimentación adicional NX-PF730 con un módulo de expansión de salidas NX-OD4256.

Figura 67. Bastidor de CPU

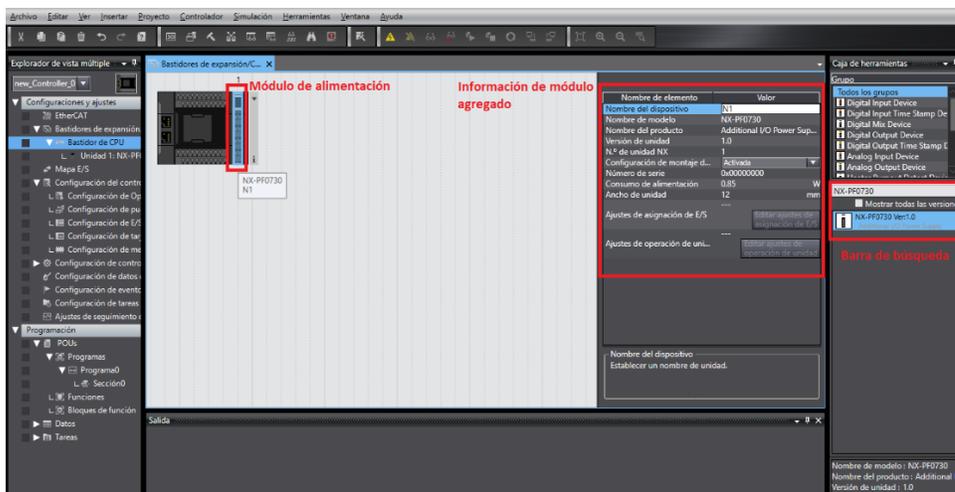


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

En la pestaña de configuraciones para el bastidor de CPU, inicialmente se encuentra la CPU elegida al inicio de la creación del proyecto, del lado izquierdo está la pestaña de caja de herramientas y la barra de búsqueda donde se busca el código de cada módulo que debemos agregar, como se muestra en figura 68.

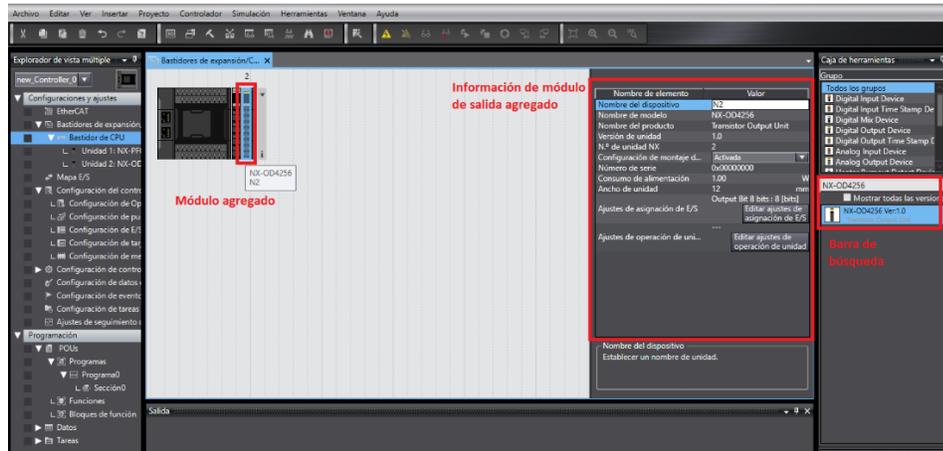
En la barra de búsqueda de la caja de herramientas se procede a agregar los módulos de expansión. Para ser agregados se deben arrastrar hacia el bastidor del CPU como se muestra en la figura 69.

Figura 68. **Módulo de alimentación NXP-0730**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

Figura 69. Módulo de expansión de salida



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

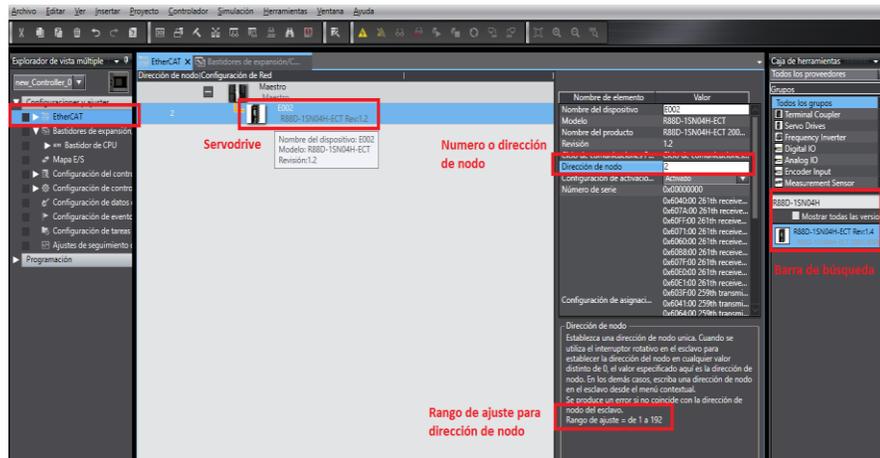
3.1.4. Configuración EtherCAT

Dentro de la pestaña de configuraciones y ajustes, se debe realizar la configuración EtherCAT, esta configuración es necesaria para la comunicación del PLC NX1P2-9024DT1 con el dispositivo de control de movimiento del servomotor, el servodrive R88D-1SN04H-ECT.

El servodrive se agrega a través de la barra de búsqueda de la caja de herramientas como se muestra en la figura 70. A este dispositivo de control del servomotor se le configura el número de nodo con el que trabajará.

El nodo es la dirección única que un dispositivo debe de tener dentro de una red EtherCAT, el rango de valores puede ir desde 1 a 192. Dentro de una red EtherCAT el PLC es considerado como el dispositivo maestro y el servodrive como un dispositivo esclavo.

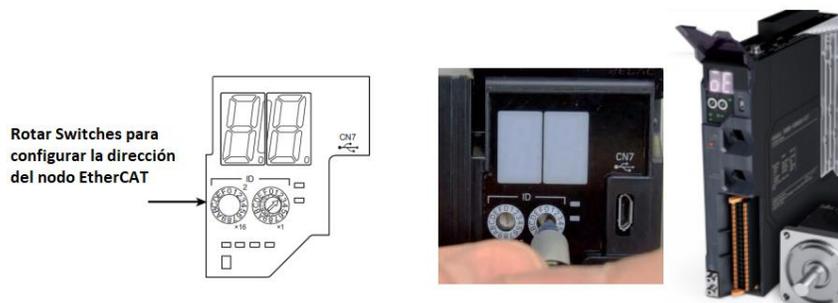
Figura 70. Configuración EtherCAT



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

La dirección de nodo EtherCAT especificada en el software también debe colocarse manualmente a través de la perilla de selección incorporada en el servodrive como se muestra en la figura 71.

Figura 71. Dirección de nodo EtherCAT



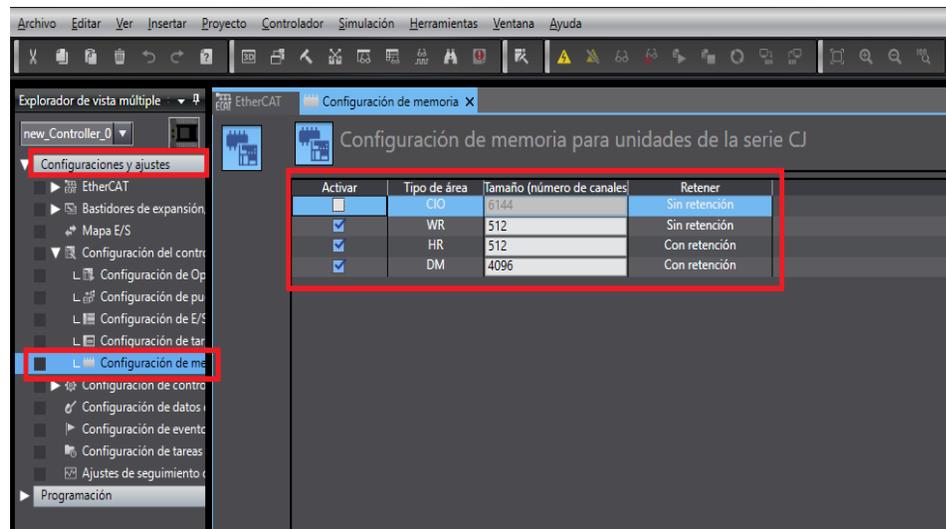
Fuente: OMRON Corporation (2019). *Guía de inicio Servo sistemas series 1S*. Consultado el 2 de marzo de 2022. Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v3/i823_1s-series_setup_manual_en.pdf.

3.1.5. Configuración de memorias

En la pestaña de configuración y ajustes se encuentra la configuración de memorias, los tipos de área de memoria con las que el PLC NX1P2- 9024DT1 puede trabajar se muestran en la figura 72, por defecto estas áreas de memoria vienen desactivadas.

Las áreas de memoria con las que cuenta el PLC son el área de trabajo (WR), de retención (HR), área de datos (DM) y áreas CIO, para este caso en particular se trabaja con las primeras 3 áreas de memoria mostradas en la figura 72, estas áreas deben ser activadas.

Figura 72. Áreas de memoria



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

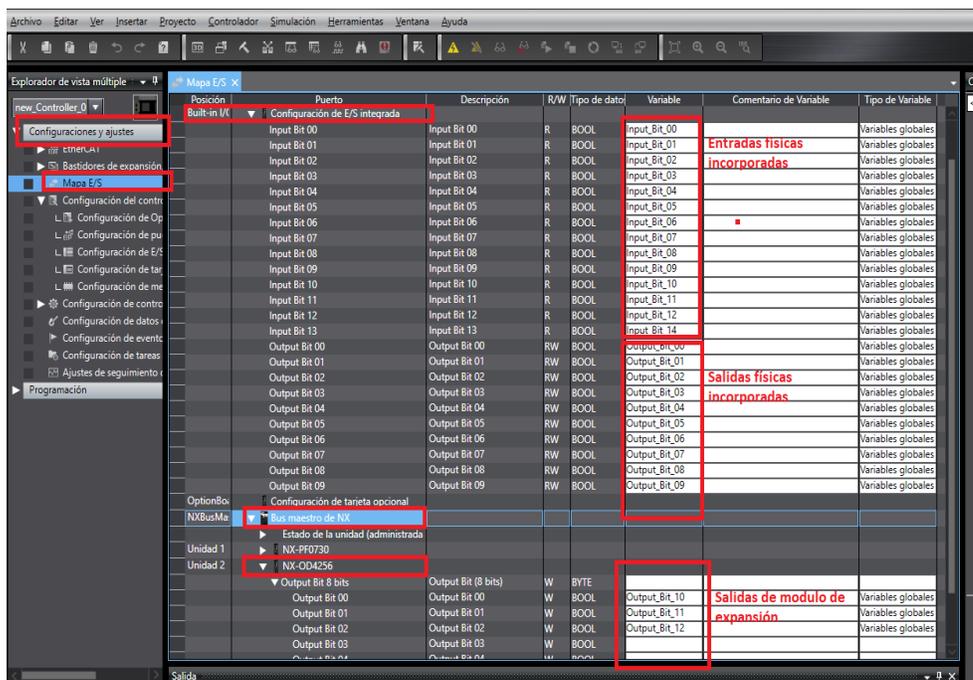
Para la activación de las memorias únicamente debemos seleccionar el recuadro al lado izquierdo como se muestra en la figura 72.

La activación de este tipo de memorias es importante debido a que durante el desarrollo del programa de usuario se necesita direccionar variables dentro del programa, estas posteriormente serán usadas en la transmisión/recepción de datos necesarios para realizar modificaciones en tiempo real durante algún mantenimiento o para ejecutar instrucciones desde la pantalla HMI hacia el PLC.

3.1.6. Configuración mapa E/S

Este apartado se encuentra ubicado dentro de la pestaña de configuración y ajustes en la pestaña llamada mapa E/S. Permite colocar nombre a las entradas/salidas físicas incorporadas en el bastidor de CPU para posteriormente utilizarlas dentro del programa de usuario.

Figura 73. Mapa de entradas y salidas



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac studio V 1.45.

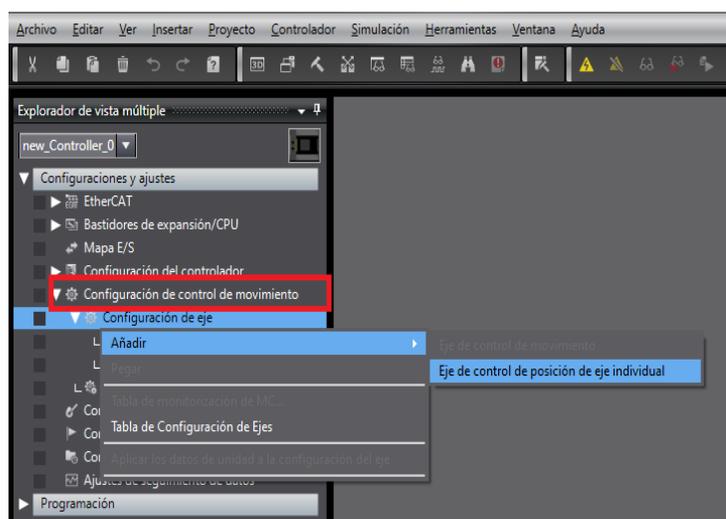
La figura 73 muestra el nombramiento de las entradas/salidas físicas del bastidor de CPU, se incluyen las salidas físicas del módulo de expansión de salida.

3.1.7. Configuración Motion Control eje físico

En este apartado se realiza la configuración para control de movimiento del eje físico, primero se debe configurar el eje físico, encargado de mover al servomotor.

Para iniciar con la configuración del servomotor físico, el primer paso a realizar es agregar un eje físico, para ello se selecciona en la pestaña de configuración y ajustes el apartado de configuración de eje, el eje se selecciona en la pestaña añadir un eje de control de posición de eje individual como se muestra en la figura 74.

Figura 74. Añadir servomotor físico



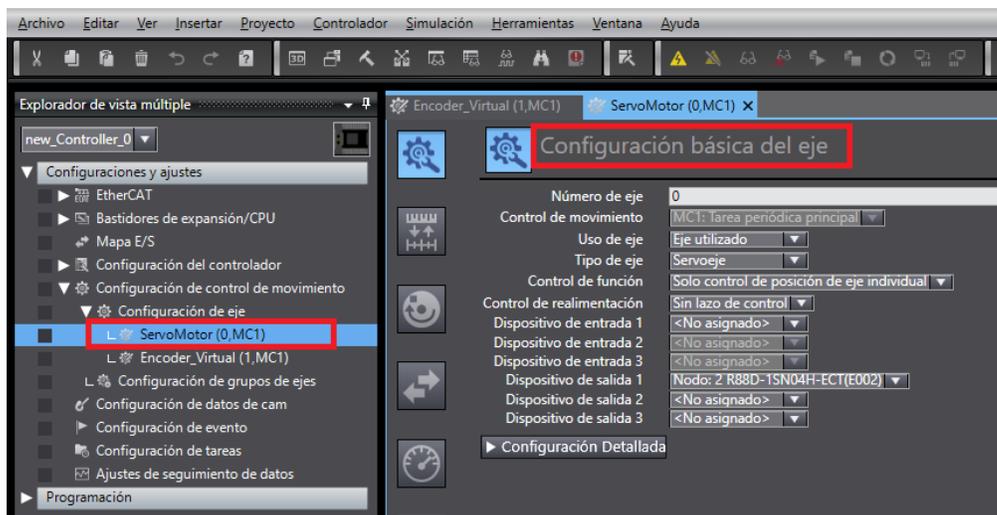
Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

3.1.7.1. Configuración básica

Creado el eje físico como se muestra en la figura 74, se ingresan las configuraciones que darán las indicaciones de movimiento al servomotor.

En el apartado de configuraciones básicas se establece el uso que se le dará al eje, el tipo de eje, el control de función, el tipo de control de retroalimentación y el dispositivo de salida 1, en este apartado se debe seleccionar el servodrive utilizado, la figura 75 muestra las configuraciones básicas indicadas.

Figura 75. Configuraciones básicas



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

3.1.7.2. Conversión de unidades

En el apartado de configuración de conversión de unidades se configura la resolución o número de pulsos por vuelta del servomotor, también se realiza el escalado del movimiento del servomotor en unidades de milímetros.

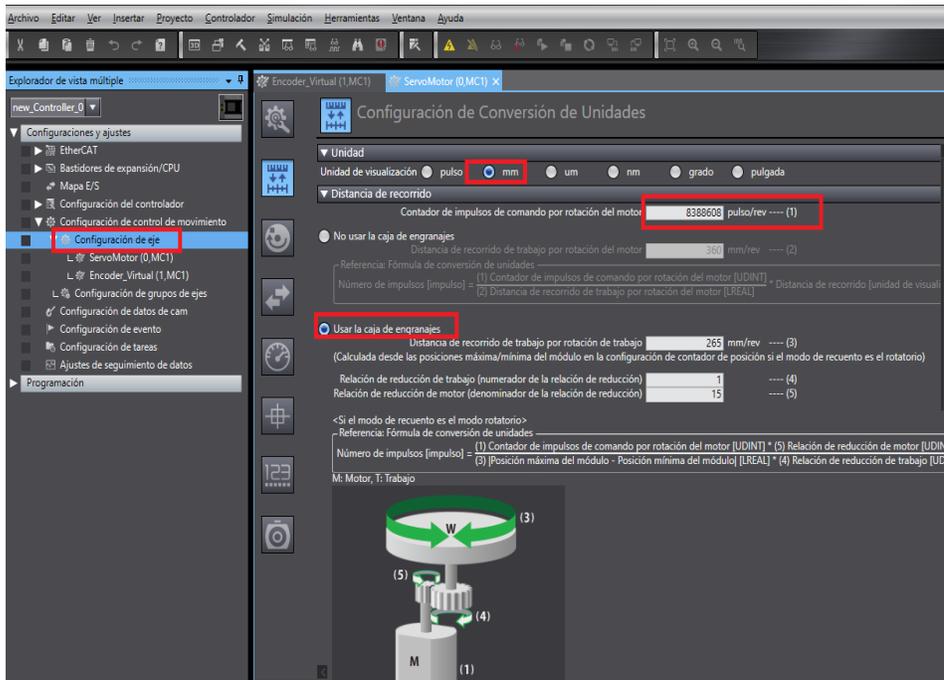
Para determinar el número que se debe ingresar en la pestaña de contador de impulsos de comandos por rotación de motor se debe conocer qué resolución tiene el *encoder* del servomotor utilizado.

En este caso en particular se tiene un *encoder* con resolución de 23 bits por lo que el valor a ingresar en el apartado de pulsos/rev es $2^{23} = 8,388,608$ de pulsos por revolución.

El eje del servomotor va conectado a una caja de engranajes, para el apartado uso de caja de engranajes se debe ingresar la distancia de recorrido de trabajo por rotación de trabajo, para este caso es de 265 mm/rev, también se debe ingresar la relación de la caja de engranajes, esta relación indica que por cada 15 vueltas del eje del servomotor la caja de engranajes en la salida dará una vuelta recorriendo un total de 265 mm/rev, por lo que la relación es de 15:1.

El ingreso de los datos indicados en este apartado de conversión de unidades se muestra en la figura 76.

Figura 76. Conversión de unidades

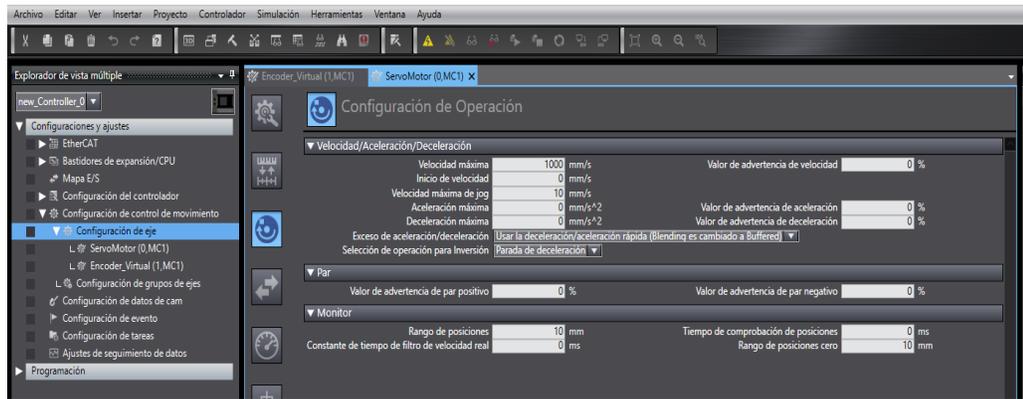


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

3.1.7.3. Configuración de operación

En el apartado de configuración de operación se debe seleccionar la velocidad máxima que tendrá el servomotor, velocidad máxima de Job, aceleración y deceleración, los valores reales ingresados en el programa de usuario del PLC son los que se muestran en la figura 77.

Figura 77. Configuración de operación



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

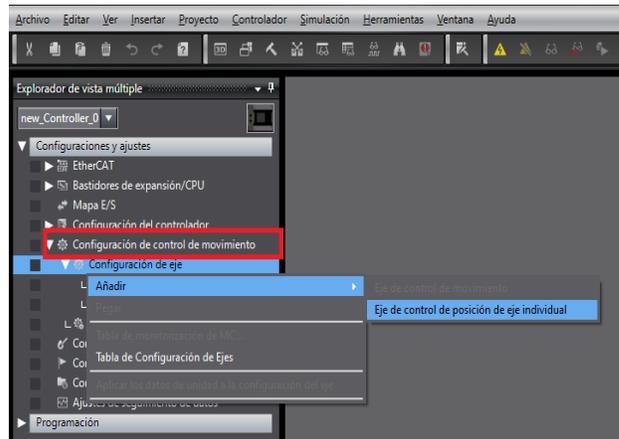
3.1.8. Configuración Motion Control eje virtual

En esta pestaña se configura el eje virtual que se utiliza como *encoder* virtual para el desarrollo de programa de usuario, este apartado es muy importante debido a que el *encoder* virtual determina el tiempo de duración del ciclo de fabricación de la máquina dosificadora.

La configuración para eje virtual se realiza de la misma manera que la configuración del eje físico del apartado anterior, el primer paso es la creación de un eje en la pestaña de configuración y ajustes.

En el apartado configuración de eje, se da clic derecho en añadir un eje de control de posición como se muestra en la figura 78.

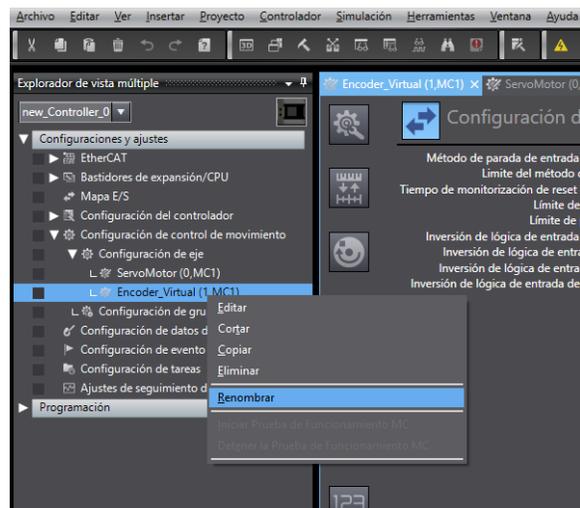
Figura 78. Añadir eje virtual



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

Añadido el eje se le coloca nombre dando clic derecho sobre él y se coloca el nombre de Encoder_Virtual, como se muestra en la figura 79.

Figura 79. Renombrar eje creado

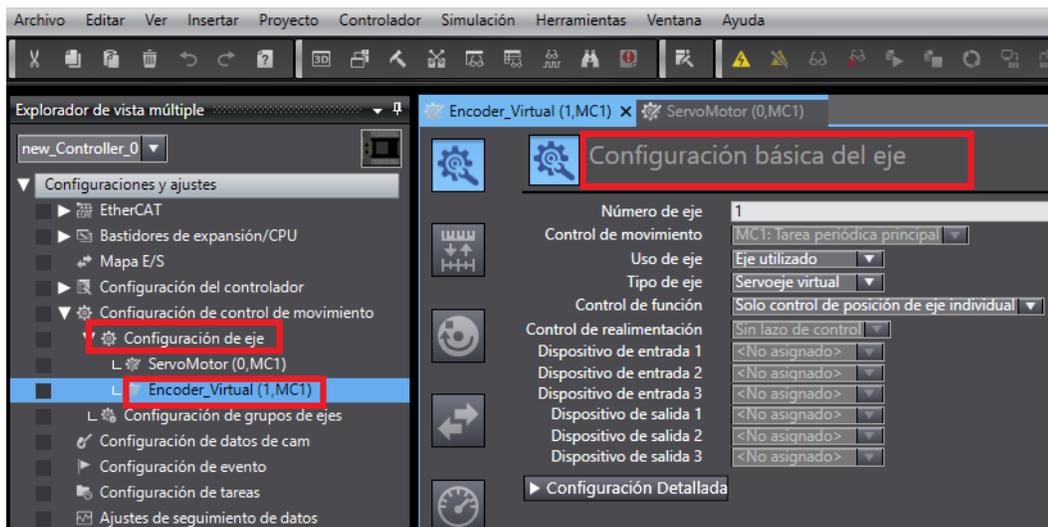


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

3.1.8.1. Configuración básica

Después de creado el eje se procede a realizar la configuración básica, donde se especifica el número de eje creado que en este caso será el número 1 debido a que el primer eje se especificó con el número 0. Se debe especificar que el eje será de tipo virtual como se muestra en la figura 80.

Figura 80. Eje virtual



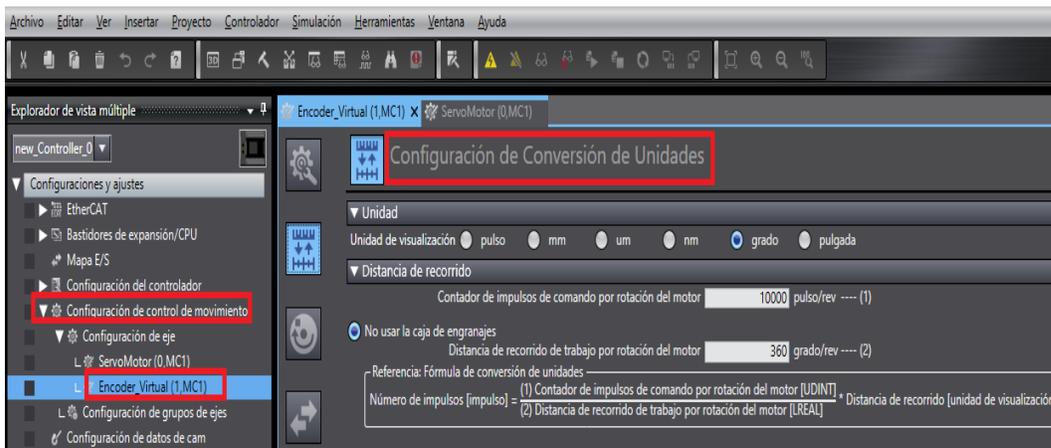
Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

3.1.8.2. Conversión de unidades

El eje de tipo virtual se debe escalar a la unidad de medida de grados sexagesimales. Para el *encoder* virtual 360 ° grados sexagesimales representan un ciclo completo de la máquina dosificadora.

La cantidad de pulsos por revolución será de 10,000 pulsos por cada revolución completada. En la figura 81 se muestra el ingreso de datos en la pestaña de configuración de conversión de unidades

Figura 81. **Conversión de unidades**

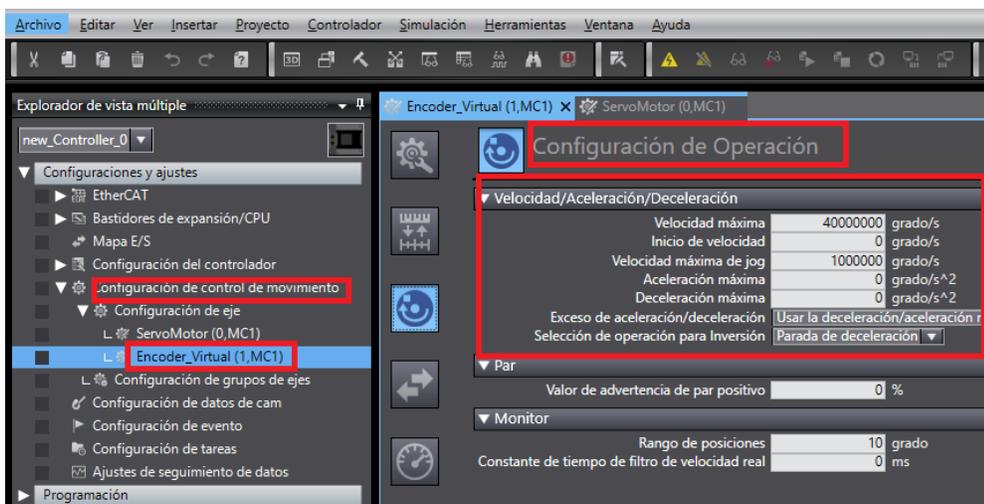


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

3.1.8.3. **Configuración de operaciones**

En el apartado de configuración de operaciones se van a configurar las velocidades según los límites del accionamiento virtual, para este caso el límite de velocidad máxima que se puede alcanzar es de 40,000,000 grados/s, para la velocidad máxima de Job tenemos 1,000,000 grados/s según especificaciones del fabricante. Los datos se ingresan como se muestran en la figura 82.

Figura 82. Configuración de operaciones



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

3.1.9. Configuración para Servodrive

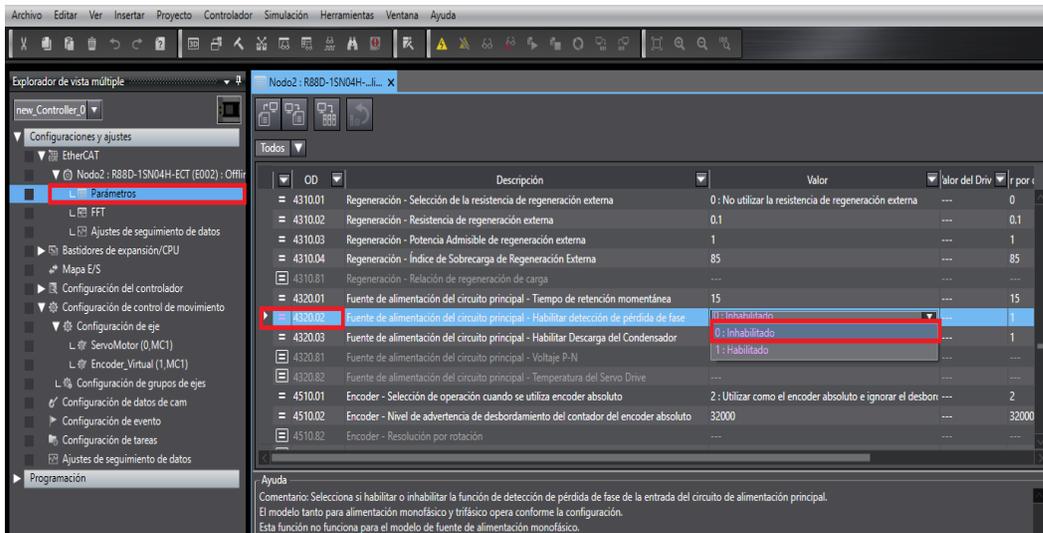
El servodrive utilizado para control de movimiento es el R88D-1SN04H-ECT este dispositivo cuenta con la capacidad de alimentación de voltaje trifásico o monofásico de 208 VAC, para este caso se utiliza un voltaje de alimentación de 208 VAC monofásico.

3.1.9.1. Parámetros de configuración

Inicialmente al conectar el servodrive a 208 VAC y encenderlo, el servodrive indicará error de pérdida de fase en suministro de energía, esto debido a que drive viene configurado de fábrica para conexión a 208 VAC trifásico, la solución se obtiene cambiando el estado de un parámetro de la lista de parámetros pertenecientes al servodrive.

El error en el *display* del servodrive es el Error No.13-01 que indica error en pérdida de fase en circuito principal. La solución es cambiar el estado del parámetro 4,320.02 de estado 1(habilitado) ha estado 0 (Inhabilitado), ese cambio de estado configura al drive para trabajo a 208 VAC monofásico como se muestra en la figura 83.

Figura 83. **Parámetros servodrive**



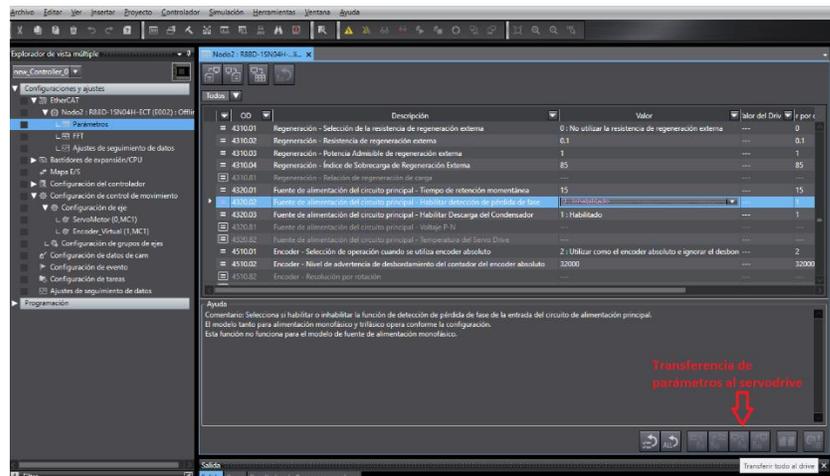
Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

3.1.9.2. **Transferencia de configuraciones**

Posterior al cambio de estado del parámetro 4,320.02 de la figura 83, se procede a realizar la transferencia del parámetro configurado al servodrive, para poder eliminar el error en pérdida de fase resultante al inicio.

La transferencia se realiza desde el apartado de parámetros en la pestaña ubicada en la parte inferior de la interfaz de Sysmac Studio como se muestra en la figura 84.

Figura 84. **Transferencia de parámetros**

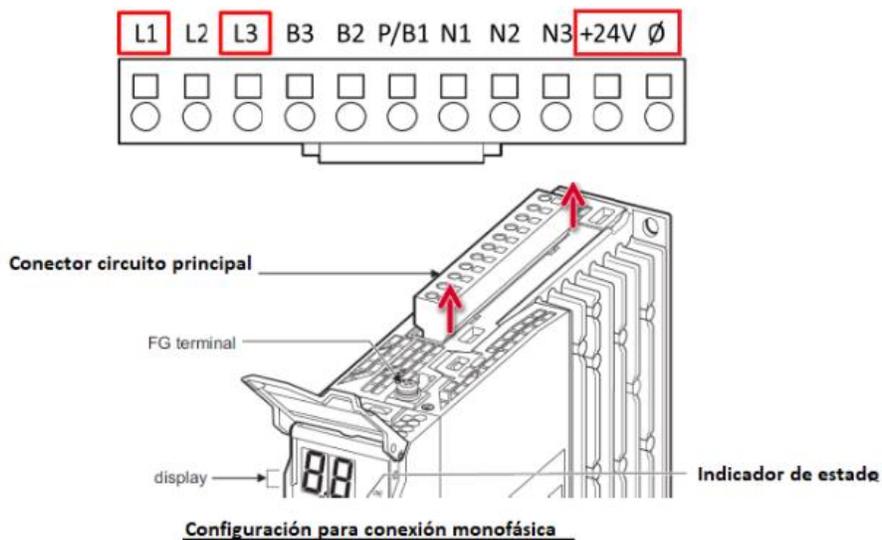


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac studio V 1.45.

3.1.9.3. Alimentación Servodrive

El circuito principal del servodrive que controlará la corriente y voltaje del servomotor debe de ser alimentado con 208 VAC monofásico, la conexión de alimentación principal se realiza por medio de un conector principal ubicado en la parte superior del drive como se muestra en la figura 85.

Figura 85. **Conexión de servodrive**

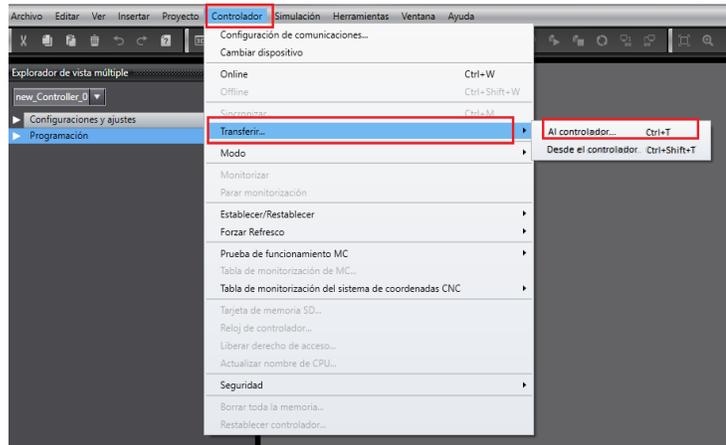


Fuente: OMRON Corporation (2019). *Startup guide*. Consultado el 3 de marzo de 2022.
Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v3/i823_1s-series_setup_manual_en.pdf.

3.1.10. **Transferencia de programa de usuario**

La transferencia del programa de usuario de la máquina dosificadora se realiza en la cinta de opciones de la parte superior seleccionando la opción transferir a controlador como se muestra en la figura 86.

Figura 86. **Transferencia de programa**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

Posteriormente se abrirá una pestaña donde se selecciona ejecutar para que el proceso de transferencia sea realizado como se muestra en la figura 87.

Figura 87. **Transferencia al controlador**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

3.2. **Software NB Designer**

Es el *software* utilizado la programación de la pantalla HMI NB7W-TW01B. Posee diversas características que permiten al usuario el diseño y mantenimiento de pantallas programables de la serie NB.

Al ser un *software* de gráfico facilita el diseño de aplicaciones utilizando una diversidad de funciones incorporadas como alarmas, eventos, indicadores, controles para datos, gráficas de nivel y función de temporizadores.

Figura 88. **NB-Designer**

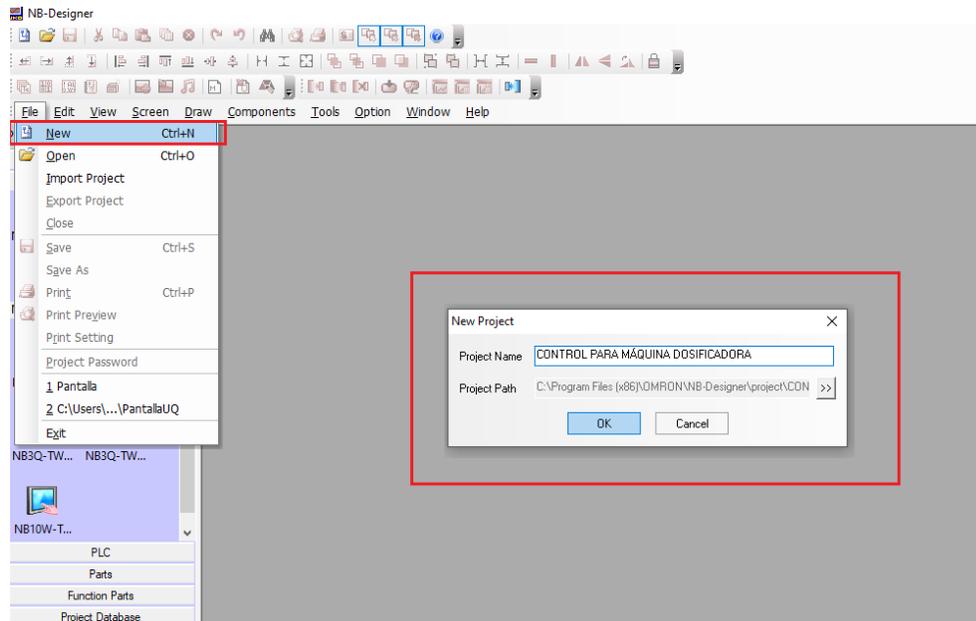


Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

3.2.1. **Crear nuevo proyecto HMI**

El primer paso a realizar una vez abierto el programa será crear un nuevo proyecto en la pestaña File, se da click en New project y automáticamente se abrirá una pestaña donde se debe colocar el nombre del proyecto como se muestra en la figura 89.

Figura 89. Nuevo proyecto HMI



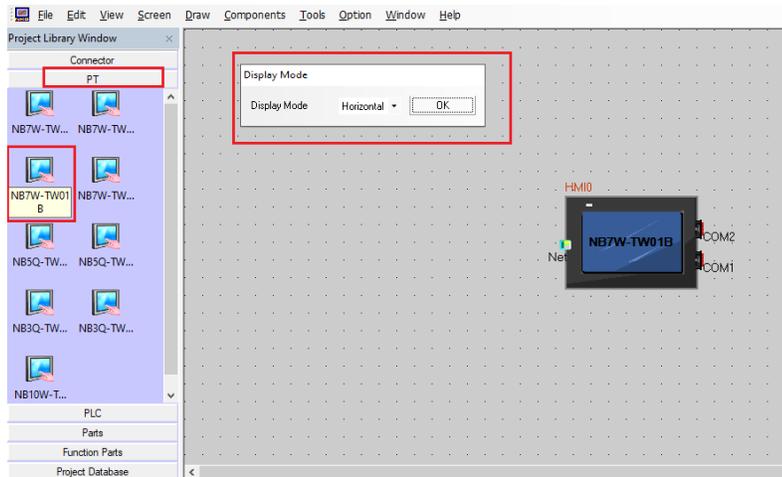
Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

3.2.2. Selección de dispositivo

Creado el proyecto, se realiza la selección del equipo con el que se trabajará, en este caso en particular se trabajará con la HMI NB7W-TW01B y el PLC NX1P2-9024DT1, este equipo se dimensionó en el capítulo 3.

Para agregar la pantalla se da clic a la pestaña con el nombre PT, esta pestaña está ubicada del lado superior izquierdo de la pantalla. El modelo de la pantalla que se utiliza se debe arrastrar al apartado color gris y seleccionar el modo de trabajo horizontal, como se muestra en la figura 90.

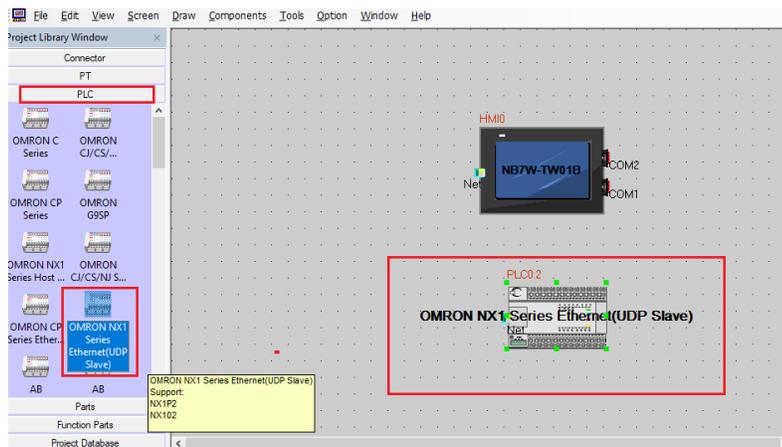
Figura 90. Selección de HMI



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

El PLC se selecciona en la pestaña PLC, el modelo compatible es el NX1 Series Ethernet (UDP Slave), como se muestra en la figura 91.

Figura 91. Selección de PLC

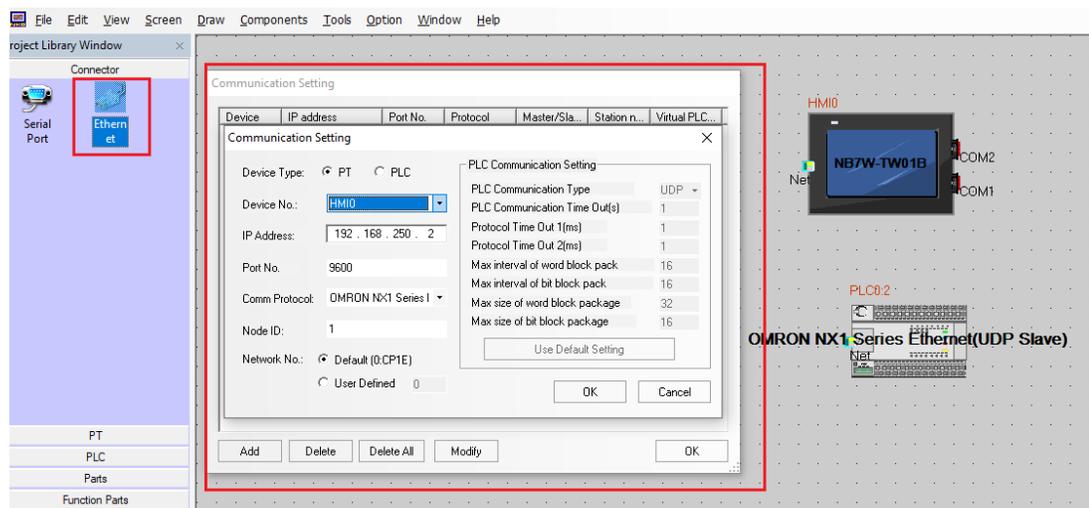


Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

El protocolo de comunicación debe ser agregado en la pestaña conector, el tipo de comunicación es Ethernet, después de agregado se abre una nueva pestaña donde se realizan los ajustes de comunicación correspondientes a la HMI y PLC.

La pestaña de configuración de la HMI se debe configurar como muestra en la figura 92, para la HMI se coloca la dirección IP 192.168.250.3 y para el PLC se coloca la dirección IP 192.168.250.1 como se muestra en la figura 93. La dirección IP debe ser única para cada dispositivo dentro de la red de área local.

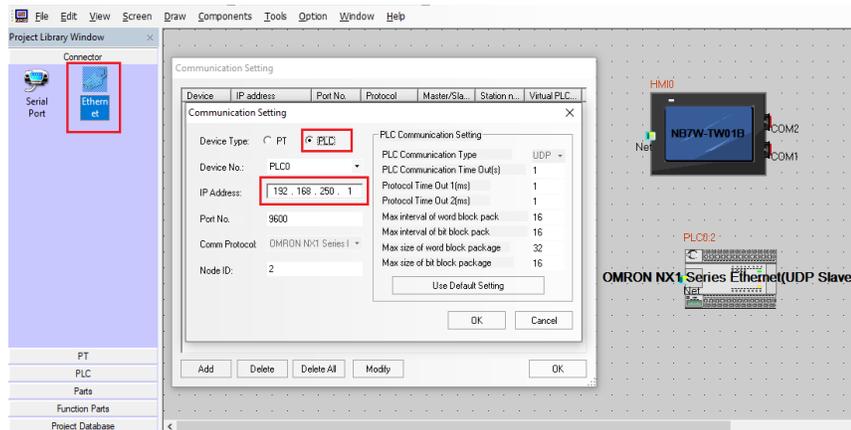
Figura 92. Ajustes de comunicación HMI



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

En la pestaña de ajustes de comunicación de PLC de la figura 93 se debe agregar la dirección IP 192.168.250.1, esta dirección es la misma con la que se configuró el PLC en el *software* de programación Sysmac Studio.

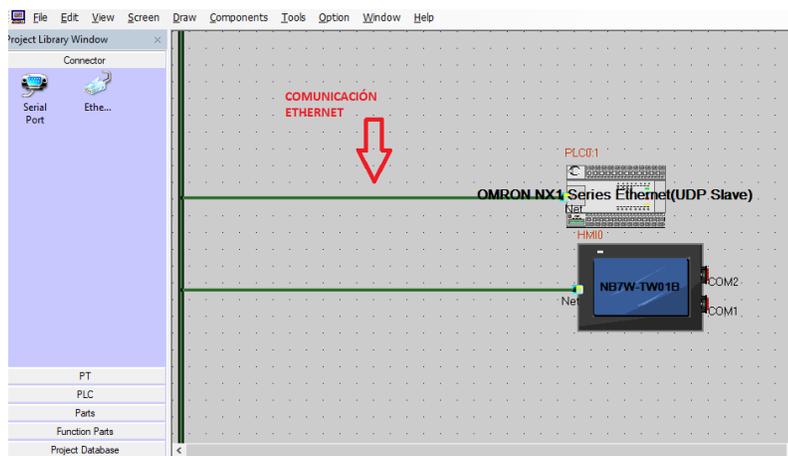
Figura 93. Ajustes de configuración PLC



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

Finalizada la configuración de comunicación del PLC y la HMI automáticamente se conectarán a través de una línea verde dentro del programa como se muestra en la figura 94.

Figura 94. Comunicación HMI y PLC

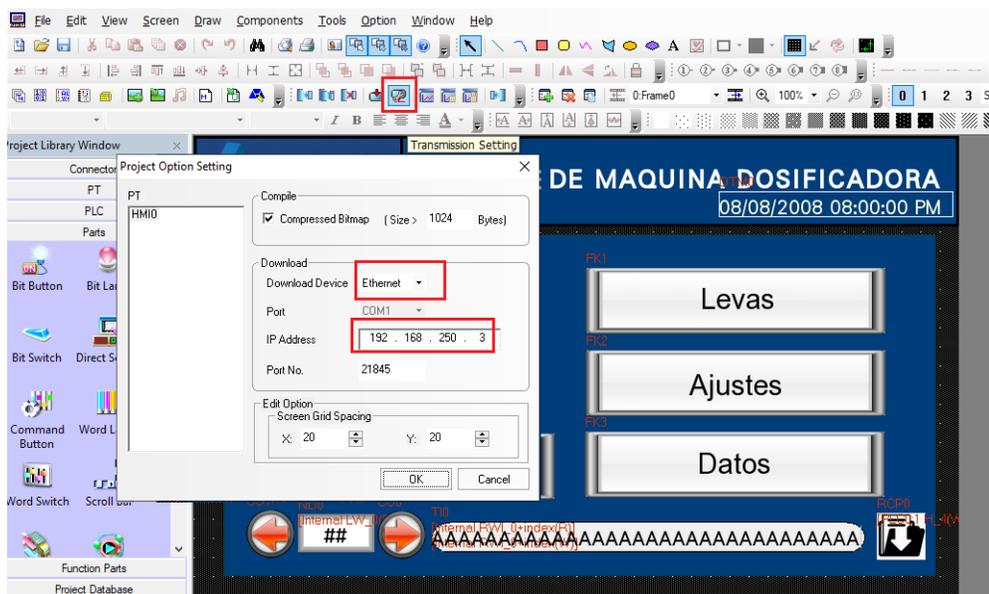


Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

3.2.3. Transferencia de programa

Para transferir el programa de usuario hacia la HMI se selecciona la pestaña *Transmission setting* de la cinta de opciones ubicada en la parte superior de la pantalla, en esta pestaña se configura la comunicación vía Ethernet y la dirección IP de pantalla, como se muestra en la figura 95.

Figura 95. Configuración de comunicación

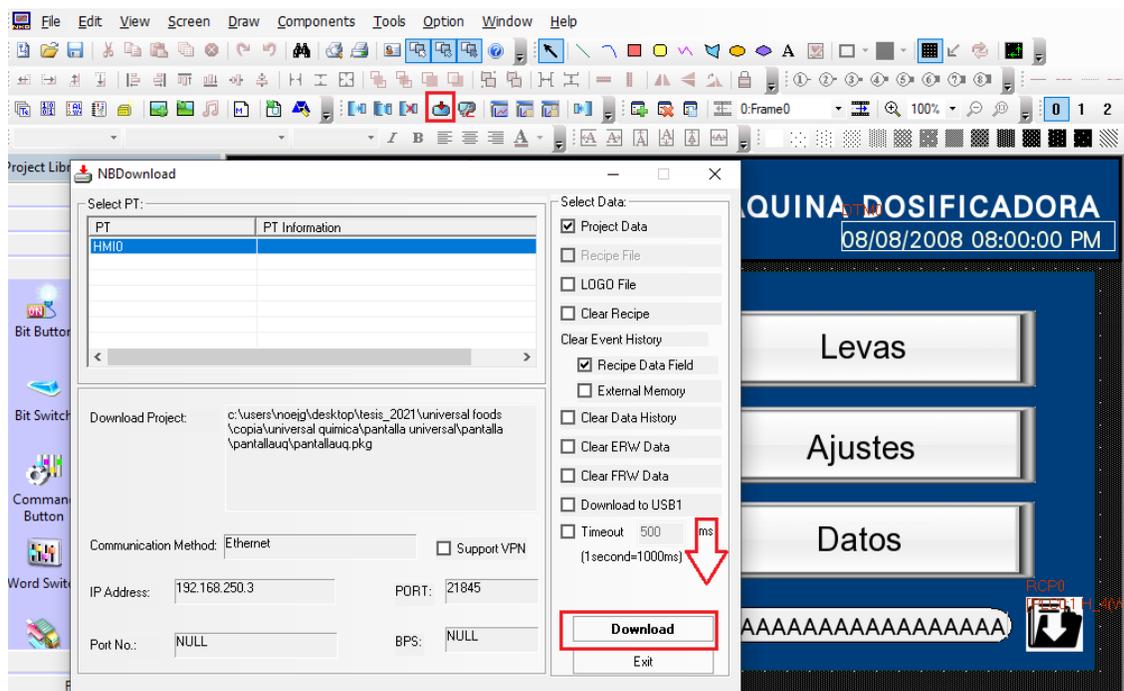


Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

Realizadas las configuraciones mostradas en la figura 95, se selecciona la pestaña *download* de la cinta de opciones ubicada en la parte superior de la pantalla para descargar el programa de usuario hacia la HMI, al dar clic en la opción *download* se transferir el programa de usuario diseñado hacia la pantalla HMI, como se muestra la figura 96.

En la figura 96 se muestra la pestaña que permite la transferencia del programa o modificaciones que se requieran durante el proceso de programación hacia la HMI.

Figura 96. **Transferencia hacia HMI**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4. PROGRAMA DE USUARIO

La programación cumple un papel muy importante en el proyecto de automatización de la máquina dosificadora. Para realizar la programación se requiere conocer la función que tendrá cada una de las entradas y salidas del autómata programable.

Para designar la función a cada salida/entrada se necesita conocer el proceso de funcionamiento de la máquina dosificadora y los mecanismos que la conforman, posteriormente se traduce el proceso a un lenguaje que el autómata pueda entender para ejecutar tareas que se soliciten.

La programación de la máquina dosificadora está dividida en 8 secciones, cada sección cumple una función específica que se explica a lo largo del desarrollo de este capítulo, las secciones con las que cuenta el programa de usuario son la sección de entradas, salidas, modo automático, modo mecánico, configuración de *encoder*, datos, alarmas, conversión de datos entero a reales.

4.1. Funciones básicas utilizadas

Durante el diseño de programación de la máquina dosificadora se utilizan una serie de instrucciones lógicas y bloques de función necesarios para hacer posible la automatización, en esta sección se hace una breve descripción de la función que cada instrucción cumple.

4.1.1. Instrucciones lógicas básicas

Las instrucciones lógicas son utilizadas dentro del *software* Sysmac studio para indicarle al PLC de qué manera se debe accionar según la información que se coloque en sus entradas.

4.1.1.1. LD(Load) y LDN (Load Not)

- (LD): Esta función es utilizada para la lectura de una variable BOOL especificada, si el valor de la variable es verdadero se emite verdadero, si es falso se emite falso y se detiene la ejecución de la instrucción en ese punto.

Figura 97. LD contacto normalmente abierto



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

- (LDN): Esta función es utilizada para la lectura del valor invertido de una variable BOOL especificada, si el valor de la variable es verdadero emite falso deteniendo la ejecución de una instrucción en ese punto, mientras que si es falso emite verdadero enviando a la siguiente instrucción.

Figura 98. **LDN contacto normalmente cerrado**

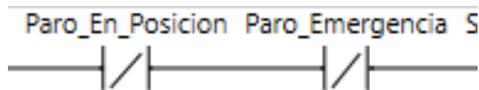


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.1.2. **AND (Función Y) Contactos serie**

Esta función es utilizada para ejecutar una instrucción basada en una serie de condiciones que se deben cumplir, se compone de dos contactos o más que pueden ser de tipo N.C o N.O, estos contactos van colocados en serie uno tras otro.

Figura 99. **Función Y**

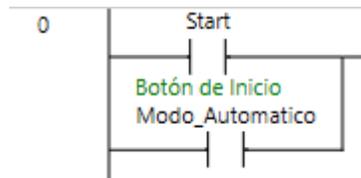


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.1.3. **OR (Función O) Contactos paralelos**

Esta función es utilizada para tener dos opciones que puedan activar la ejecución de una instrucción o salida, eléctricamente equivalente a colocar dos contactos en paralelo.

Figura 100. **Función O**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.1.4. **OUT(Salida)**

La instrucción OUT toma el resultado de una instrucción anterior y lo envía a una variable BOOL especificada, eléctricamente es equivalente a una bobina.

La instrucción OUT se activa cuando las condiciones anteriores a ella se cumplen y se desactiva cuando alguna función anterior a ella deja de cumplir.

Figura 101. **Salida**



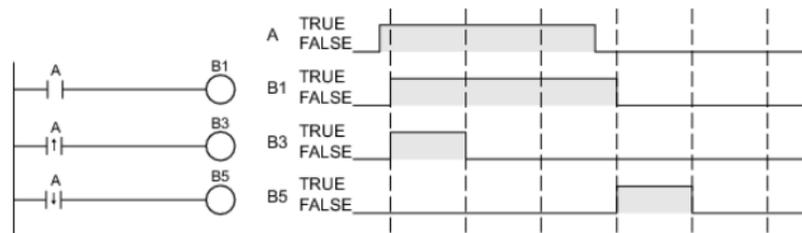
Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.1.5. **Flanco ascendente y descendente**

- Flanco ascendente: Tiene la función similar a la instrucción LD con la diferencia que este flanco toma lectura del primer instante cuando la señal de entrada es activada detectando un flanco de subida, posterior a eso no importará si la salida continúa activada, el flanco ascendente se desactiva.

- Flanco descendente: Se activa en el instante cuando la señal de entrada es desactivada, cuando detecta el flanco de bajada, posteriormente se desactiva.

Figura 102. Flanco ascendente y descendente



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

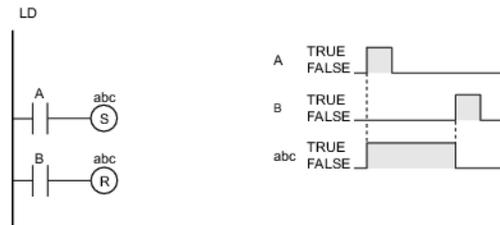
4.1.2. Instrucciones de programación

Las instrucciones de programación son utilizadas dentro del programa de usuario del PLC para realizar acciones requeridas para el buen funcionamiento del PLC.

4.1.2.1. Instrucción *SET* y *RSET*

- *SET*: Esta instrucción es utilizada para cambiar el estado de la salida a verdadero si la entrada es verdadera, una vez activada la salida esta no cambiará su estado a falso incluso si la entrada cambia a estado falso.
- *RESET*: Esta instrucción es utilizada para cambiar de estado verdadero ha estado falso la salida activada por el set, a continuación, se muestra el diagrama de tiempo para estas funciones.

Figura 103. **Función SET-RESET**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.2.2. Instrucción ZoneCMP

Esta instrucción determina si los valores de entrada In se encuentran entre el valor máximo (MX) y el valor mínimo (MN) especificados, si los valores de entrada In se encuentran dentro del rango especificado la salida de la instrucción cambia a verdadero, de lo contrario el valor se mantiene en falso.

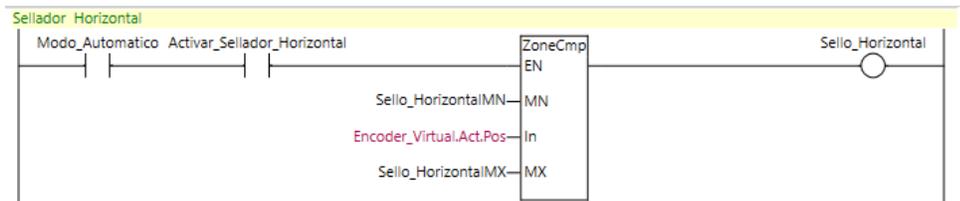
En la programación esta instrucción es utilizada para activar un mecanismo en un determinado rango de los valores generados por la variable Encoder_Virtual.Act.Pos, de esta manera se virtualizan los mecanismos (levas) de la máquina dosificadora.

Los valores de la variable Encoder_Virtual.act.Pos corresponden a los valores generados por el *encoder* virtual creado en el programa de usuario, estos valores van desde 0 ° hasta 360 ° sexagesimales correspondientes a un ciclo completo de la máquina.

El *encoder* virtual sustituye el árbol de levas físico, mientras que la instrucción ZoneCmp sustituye las levas físicas del árbol de levas utilizadas para

activar los mecanismos en determinado momento del ciclo de la máquina según los valores que se especifiquen en la instrucción ZoneCmp.

Figura 104. **Leva virtual-sellador horizontal**

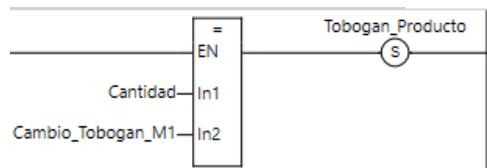


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.2.3. Instrucción EQ(=)

Esta función determina si el valor de dos variables es el mismo, si el resultado de la comparación es verdadero el estado de la salida cambia a verdadero, mientras que si no se cumple el resultado de salida es falso.

Figura 105. **Instrucción EQ**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.2.4. Instrucción TP

Esta instrucción se utiliza como un temporizador, se inicia cuando su entrada In cambia a verdadero, en ese momento la salida Q cambia a verdadero, transcurrido el tiempo especificado en la entrada PT la salida Q del temporizador cambia a falso, el temporizador se restablece cuando la entrada In cambia a falso. Dentro de la programación es utilizado para la aplicación de frenado del material de empaque.

Figura 106. Instrucción TP



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.2.5. Instrucción TON

Esta instrucción genera el valor verdadero en su salida Q cuando su entrada In cambia a verdadero y transcurre el tiempo establecido en su entrada PT. Se reinicia cuando la entrada In cambia a falso. Es utilizada dentro de la programación de la máquina dosificadora para realizar las pruebas de calentamiento previo a la puesta en marcha de la máquina.

Figura 107. Instrucción TON

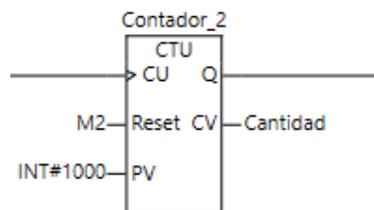


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.2.6. Instrucción CTU

Esta instrucción es un contador de tipo ascendente que incrementa su valor cuando recibe una señal en su entrada CU, a este contador se le puede colocar un valor máximo de conteo en su entrada PV, se reinicia cuando el valor en la entrada *Reset* cambia a verdadero. En la programación es utilizado para llevar un conteo de la cantidad de producto producido.

Figura 108. Contador ascendente CTU

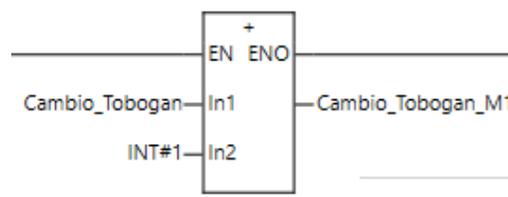


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.2.7. Instrucción ADD (+)

Es una instrucción matemática utilizada para sumar dos o más números enteros. En la programación es utilizada para llevar el conteo de producto para activar un tobogán encargado de llenar las cajas de producto.

Figura 109. Instrucción ADD(+)

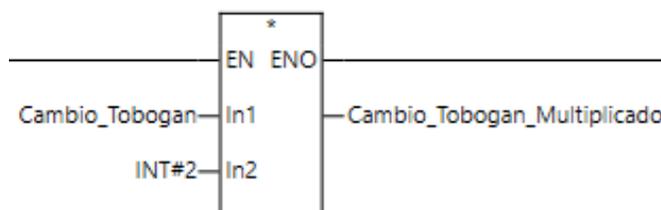


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.2.8. Instrucción MUL (*)

Esta instrucción matemática es equivalente a la multiplicación, cuenta con 2 entradas la primera In1 donde se coloca el valor de la variable que se va a multiplicar e In2 donde se coloca el valor multiplicador.

Figura 110. Instrucción MUL (*)

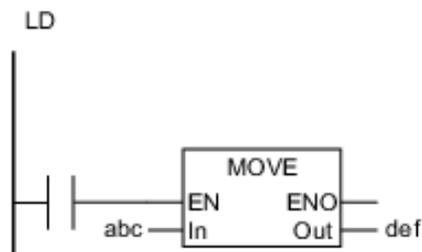


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.2.9. Instrucción MOVE

La instrucción MOVE mueve el valor de una constante o variable a otra variable como se muestra en la figura 111, donde el valor de la variable abc es movido a la variable de salida def.

Figura 111. Instrucción MOVE



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

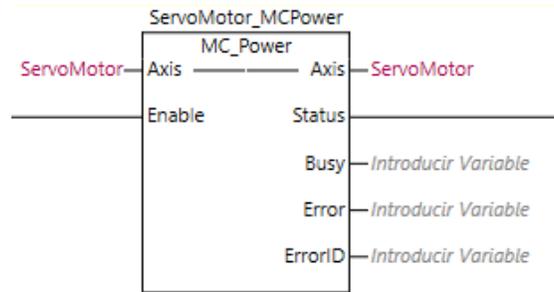
4.1.3. Bloques de función Motion Control

Los bloques de función para motion control son utilizados para la activación del servomotor y creación del *encoder* virtual, estas instrucciones son enviadas al servodrive por medio de protocolo de comunicación EtherCAT.

4.1.3.1. Instrucción MC_Power

Esta instrucción es utilizada para poner al servo en estado ON con torque alto a velocidad cero, de esa manera el servomotor queda totalmente bloqueado en espera de una instrucción para movimiento. También es utilizado para la activación del *encoder* virtual.

Figura 112. **Instrucción MC_Power**

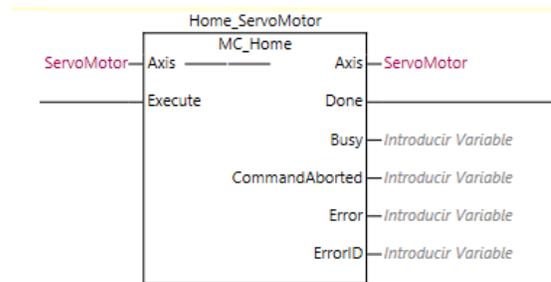


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.3.2. **Instrucción MC_Home**

Esta función es utilizada en combinación con el MC_Power para dar referencia del origen al realizar un movimiento de tipo absoluto.

Figura 113. **Instrucción MC_Home**

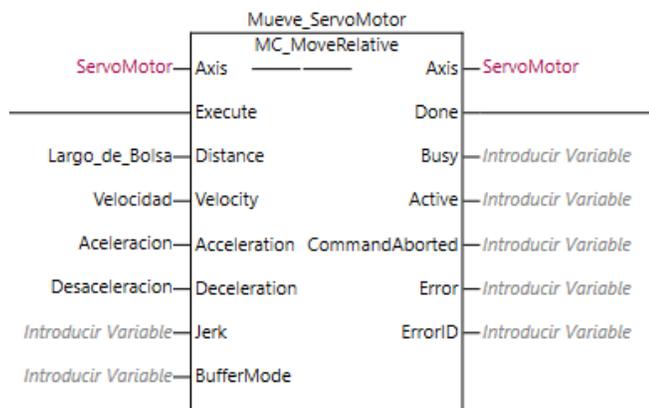


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.3.3. Instrucción MC_MoveRelative

Este bloque de función es utilizado en la programación para indicar al servomotor la distancia de recorrido, la velocidad de movimiento, la aceleración y deceleración que debe tener.

Figura 114. Instrucción MC_MoveRelative



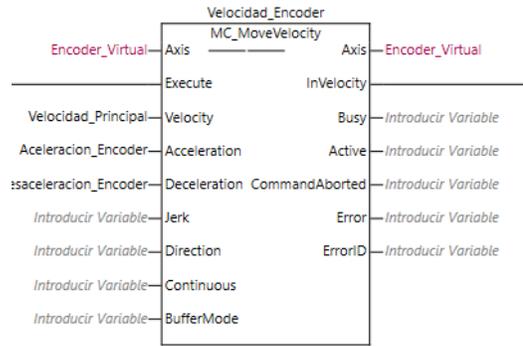
Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.3.4. Instrucción MC_MoveVelocity

Esta instrucción es utilizada para indicar al *encoder* virtual la velocidad, la aceleración y la deceleración.

La velocidad del *encoder* dependerá del número de ciclos por minuto que representa la cantidad de empaques creados por minuto, la velocidad para el *encoder* está dada en grados sexagesimales por segundo.

Figura 115. Instrucción MC_MoveVelocity

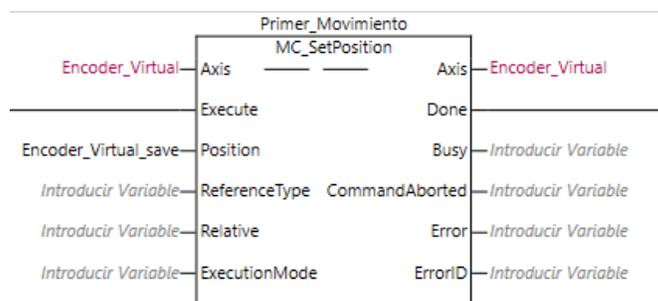


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.1.3.5. Instrucción MC_SetPosition

Esta instrucción se encarga de guardar la última posición del *encoder* virtual cada vez que la máquina dosificadora se detiene, con esta instrucción se logra mantener la secuencia y orden del proceso en todo momento.

Figura 116. Instrucción MC_SetPosition

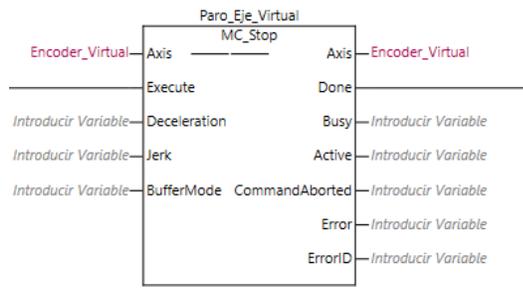


Fuente: elaboración propia, utilizando Sysmac Studio V 1.45.

4.1.3.6. Instrucción MC_Stop

Esta instrucción se utiliza para dar stop al *encoder* virtual, al poner en stop el *encoder* virtual todo el proceso y mecanismo de la máquina dosificadora se detiene, debido a que las levas dependen del intervalo de valores generado por el *encoder* virtual para poder activar las salidas físicas del PLC

Figura 117. Instrucción MC_Stop



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.2. Programación de PLC

El programa de usuario se podría diseñar en una sola sección de programación, pero se trabajó en 8 secciones con el objetivo de tener un orden más preciso y ubicar cualquier línea de programación con facilidad

4.2.1. Sección de entradas

En esta sección se colocan las entradas físicas del PLC, a cada entrada física se le asignó un nombre específico, que se utilizará para ubicarla dentro del programa de usuario, la cantidad de entradas a utilizadas será de 12, como se muestra en la tabla II del capítulo 2.

4.2.1.1. Mapeo de entradas

La sección de entradas es una de las más importantes debido a que en esta sección se realiza un mapeo de las entradas físicas del PLC, el mapeo se realiza asignando una variable de salida por cada entrada correspondiente, se hace con la intención de anticipar una posible falla que pueda estropear una entrada física, con el mapeo se logra cambiar fácilmente de una entrada física estropeada a otra funcional, sin alterar la estructura de programación.

Tabla IX. Mapeo de entradas físicas

Entrada Física	Mapa E/S	Nombre de Salida asignada para mapeo	Descripción
00	Input_Bit_00	Paro_Emergencia	Paro de emergencia
01	Input_Bit_01	<i>Start</i>	Botón de inicio
02	Input_Bit_02	<i>Stop</i>	Botón de paro
03	Input_Bit_03	SJalador_Izquierdo	Sensor indicador de jalador izquierdo en posición
04	Input_Bit_04	SJalador_Derecho	Sensor indicador de jalador derecho en posición
05	Input_Bit_05	SBalancín_Superior	Sensor balancín superior
06	Input_Bit_06	SBalancín_Inferior	Sensor balancín inferior
07	Input_Bit_07	SM1_Piston_Dosificador	Sensor trasero pistón dosificador
08	Input_Bit_08	SM2_Piston_Dosificador	Sensor delantero pistón dosificador
09	Input_Bit_00	Snivel_Producto	Sensor de nivel de producto mínimo
10	Input_Bit_10	CT1_Falla_Temperatura	Señal control de temperatura
11	Input_Bit_11	Snivel_Producto_Maximo	Sensor de nivel de producto máximo

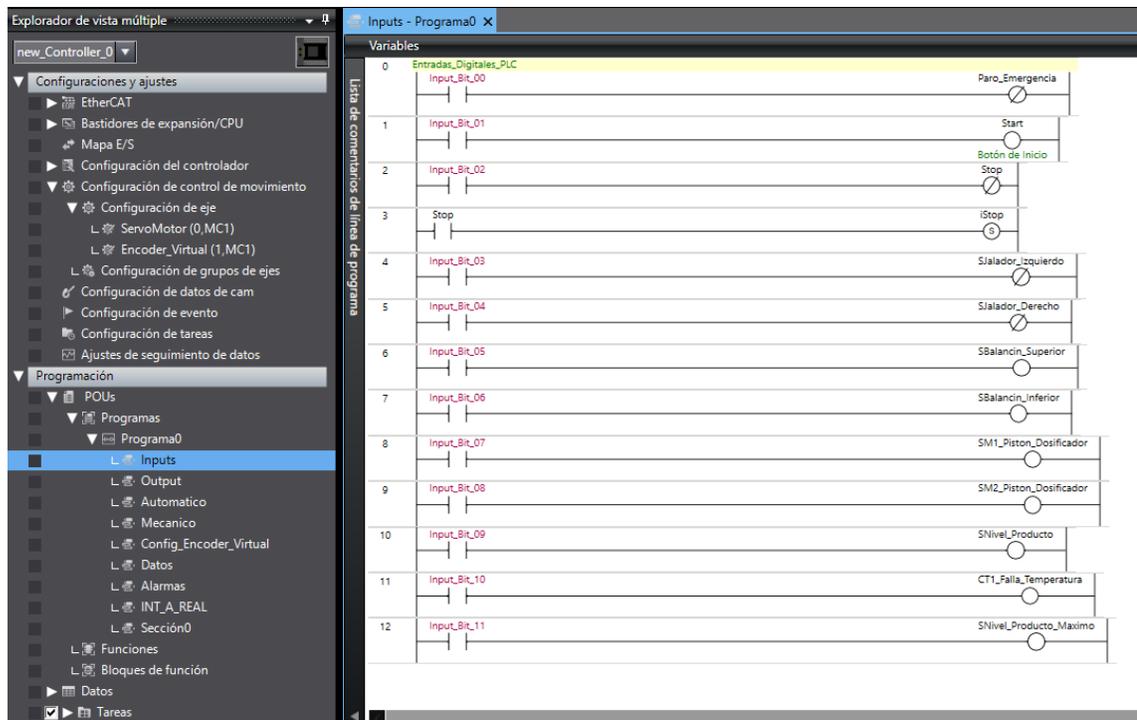
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

La tabla anterior muestra el número de entrada física utilizada, el nombre asignado para el llamado dentro de la programación en la columna de E/S, el nombre de la salida destinada para el mapeo y la descripción del dispositivo conectado a la entrada física que se utiliza.

El objetivo principal de la tabla IX es tener clara la distribución de las entradas utilizadas en la programación de la sección de entradas.

En la figura 118 se muestra la programación desarrollada para la sección de entradas del Controlador Lógico Programable PLC, se toma de referencia la tabla IX para el mapeo de las entradas físicas.

Figura 118. **Sección de entradas**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.2.2. Sección modo automático

En esta sección de programación se incorpora el ciclo completo de la máquina dosificadora, la máquina cuenta con dos modos de funcionamiento, el primero es el modo automático, en este modo la máquina funcionará de manera independiente realizando ciclos completos de empacado, sellado y dosificado.

El modo mecánico está diseñado para ser utilizado durante los periodos de mantenimientos preventivos o ajuste de los mecanismos independientes de la máquina dosificadora.

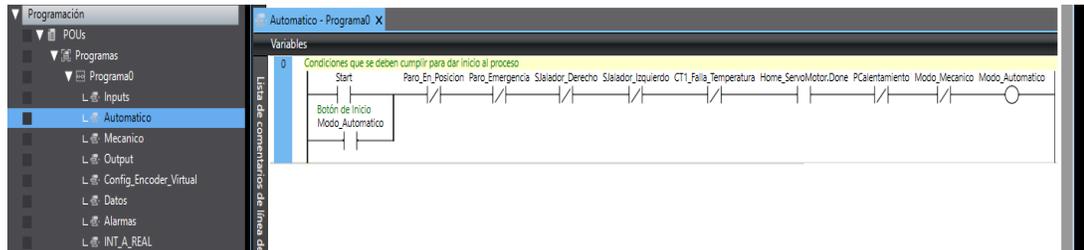
4.2.2.1. Condiciones de inicio

Dentro de la sección de programación modo automático se deben cumplir determinadas condiciones de seguridad, condiciones que aseguren la posición correcta de los mecanismos de la máquina. Cumplidas las condiciones la máquina dosificadora puede ser puesta en marcha.

Las condiciones de inicio son el paro en posición utilizado para dar stop a la máquina, el paro de emergencia, jalador derecho e izquierdo posicionados correctamente, control de temperatura en valor correcto, servomotor listo para arranque, prueba de calentamiento de los sellos vertical u horizontal de la máquina que indica que los sellos se encuentran a la temperatura correcta y finalmente la condición que evita que el modo automático de la máquina se active si se encuentra activado el modo de uso mecánico.

Todas las condiciones necesarias descritas en el párrafo anterior son mostradas en la figura 119, esta sección de condiciones iniciales pertenece a la sección de modo automático.

Figura 119. Condiciones iniciales



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

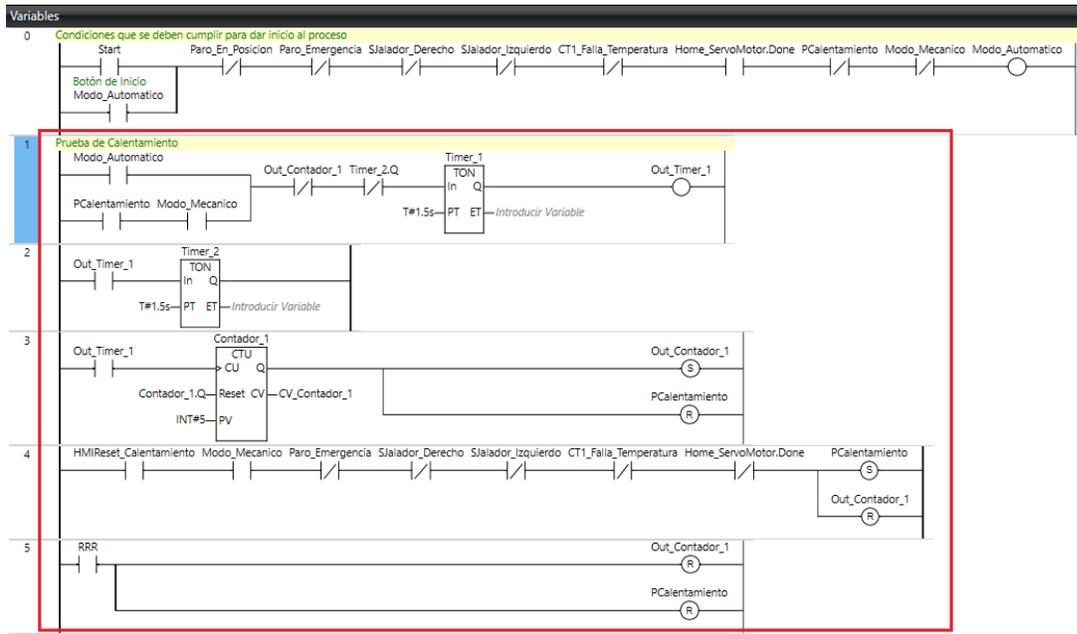
4.2.2.2. Prueba de calentamiento

La prueba de calentamiento es una prueba esencial previo a la puesta en marcha de la máquina dosificadora, esta prueba se encarga de activar el sello horizontal y el sello vertical movilizándolos de manera conjunta cuando se ha alcanzado el valor correcto de temperatura para el sellado correcto del empaque.

Se realiza durante el primer arranque de la máquina, para comprobar que la temperatura de los sellos se encuentra en el valor correcto para poder iniciar con la fabricación continua y evitar que los empaques sean sellados de manera incorrecta.

La programación de la prueba de calentamiento para los sellos de la máquina dosificadora se muestra en la figura 120 en el recuadro de color rojo.

Figura 120. Prueba de calentamiento



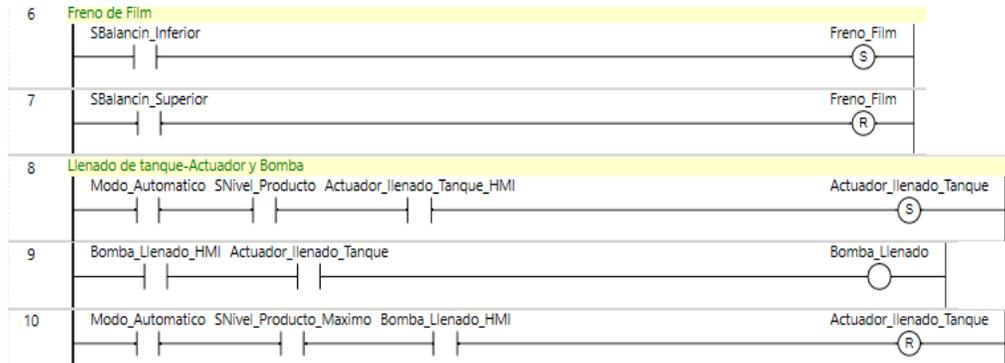
Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.2.3. Freno film y llenado de tanque

La programación del freno del *Film* se realizó por medio de un *Set* y *Reset* que activa o desactiva el freno según la activación de los sensores de entrada superior e inferior colocados de manera estratégica sobre un balancín que regula la presión del material de empaque como se muestra en la figura 121.

El llenado del tanque se programó por medio de sensores que indican el nivel máximo y mínimo del material viscoso dentro el tanque, cuando el nivel es mínimo se enciende la bomba de llenado, si nivel es máximo se apaga la bomba, este proceso se repite de manera cíclica como se muestra en la figura 121.

Figura 121. Freno de film y llenado de tanque



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

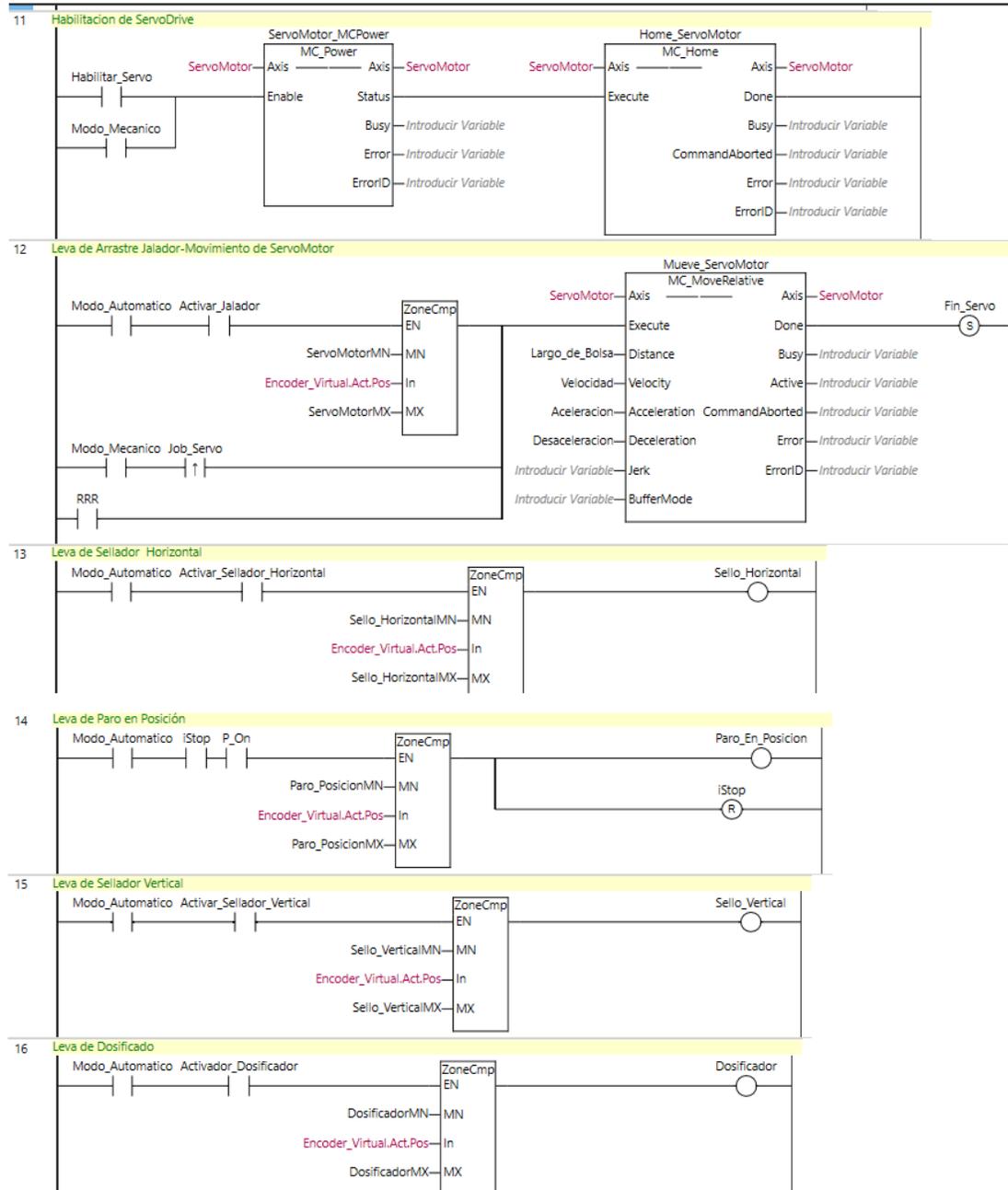
4.2.3.1. Levas de máquina dosificadora

La virtualización de las levas de la máquina dosificadora se realizó por medio de instrucciones de programación ZoneCmp que activa las levas durante un rango de valores generados por el *encoder* virtual.

Las levas se encargan de activar una variable de salida que posteriormente activar la salida física del controlador accionando el dispositivo que se encuentra conectado en su salida.

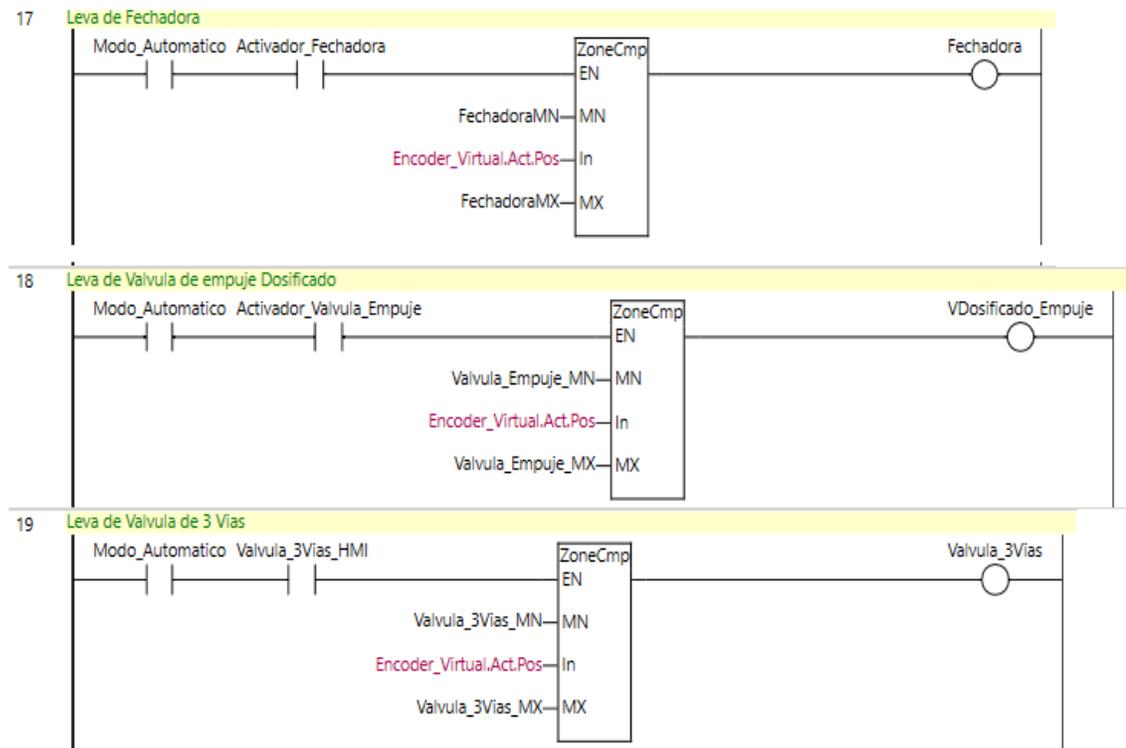
En la figura 122 y figura 123 se muestra la programación realizada para la virtualización de las levas o mecanismos de la máquina.

Figura 122. Levas virtuales I



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

Figura 123. **Levas virtuales II**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

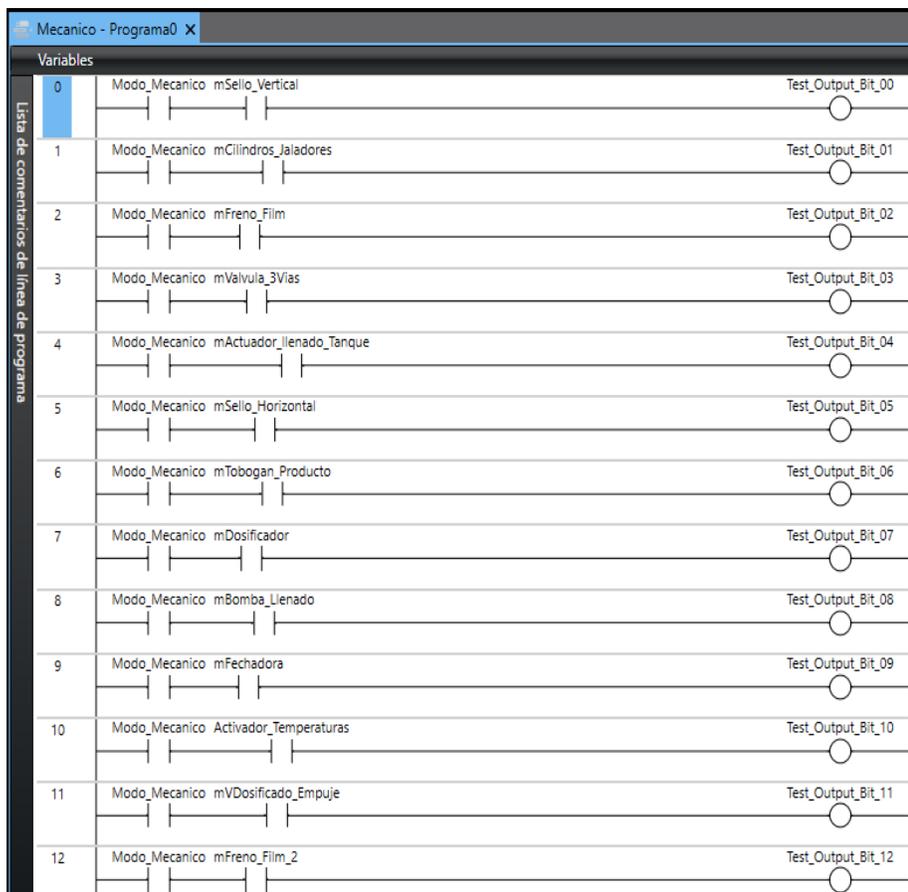
4.2.4. **Modo Mecánico**

La sección modo mecánico es utilizada para hacer pruebas y ajustar los mecanismos de la máquina, como se muestra en la figura 123 se utiliza una variable con el nombre de Modo_mecánico, esta variable es una condición que debe activarse desde la pantalla HMI.

La variable Modo_mecanico en combinación las 12 variables mostradas en la figura 124, podrán activar un mecanismo para verificar que su funcionamiento es adecuado.

Los mecanismos se deben de activar de manera independiente para verificar que funcionan correctamente, esto se realiza precio al arranque y fabricación continua de la máquina dosificadora. La programación del modo mecánico se muestra en la figura 124.

Figura 124. **Modo mecánico**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.2.5. Sección de salidas

Esta sección de programación es utilizada para colocar las salidas físicas del PLC, a cada salida física se le asignó un nombre específico con el que podrá ser llamado dentro del programa, la cantidad de salidas físicas a utilizar son 12.

4.2.5.1. Mapeo de salidas

El mapeo de las salidas físicas digitales se realiza asignando variables que serán utilizadas dentro del programa para accionar las salidas, el mapeo se realiza para anticipar cualquier posible falla que pueda estropear una salida, con el mapeo se logra cambiar fácilmente una salida física estropeada a otra funcional sin alterar la estructura de programación.

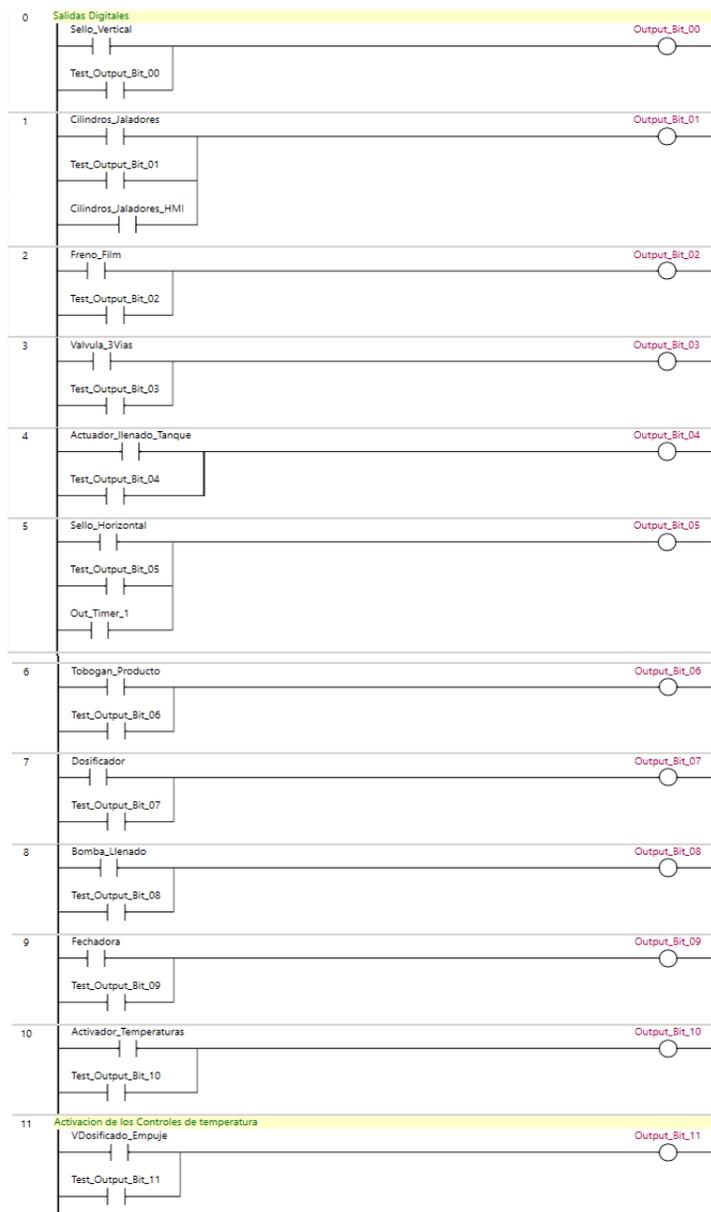
Tabla X. Mapeo de salidas digitales

Salida Física	Mapa E/S	Nombre de variable	Descripción
00	Output_Bit_00	Sello_Vertical	Sellador Vertical
01	Output_Bit_01	Cilindros_Jaladores	Cilindros de Jalador
02	Output_Bit_02	Freno_Film	Electroválvula Film
03	Output_Bit_03	Valvula_3Vias	Válvula de 3 vías
04	Output_Bit_04	Actuador_Llenado_Tanque	Válvula Actuadora
05	Output_Bit_05	Sello_Horizontal	Sellador Horizontal
06	Output_Bit_06	Tobogan_Producto	Tobogán de producto
07	Output_Bit_07	Dosificador	Válvula Dosificadora
08	Output_Bit_08	Bomba_Llenado	Bomba de llenado de producto
09	Output_Bit_09	Fechadora	Fechadora
10	Output_Bit_10	Activador_Temperaturas	Relé de temperatura
11	Output_Bit_11	VDosificado_Empuje	Válvula de Empuje

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

En la figura 125 se muestra la programación del mapeo de salidas físicas, las variables de salida fueron nombradas según la tabla X de mapeo de salidas.

Figura 125. Mapeo de salidas físicas

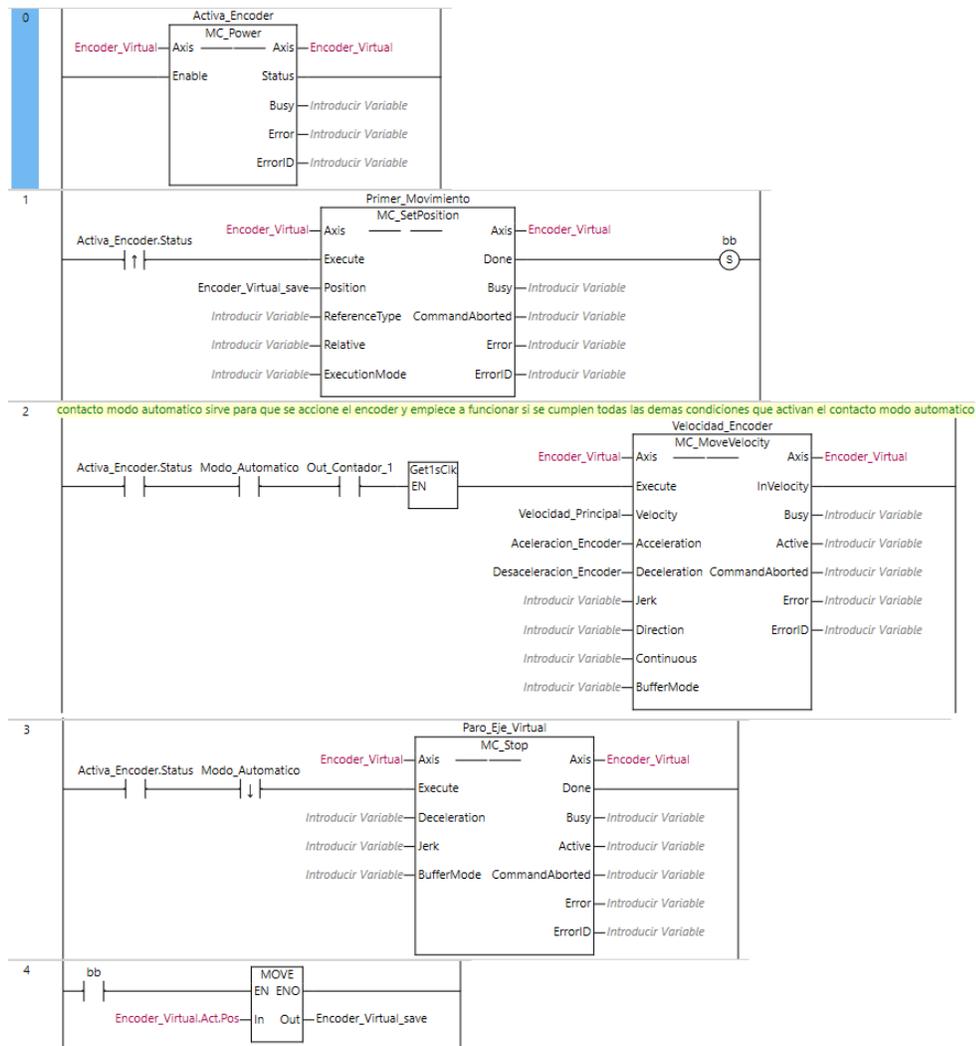


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.2.6. Sección de *encoder* virtual

Se realiza la programación de bloques para el *encoder* virtual. Se presentan los bloques de activación del *encoder*, *seteo* de posición, configuración de velocidad y para detener al *encoder* como se muestra en la figura 126.

Figura 126. Configuración de *encoder*

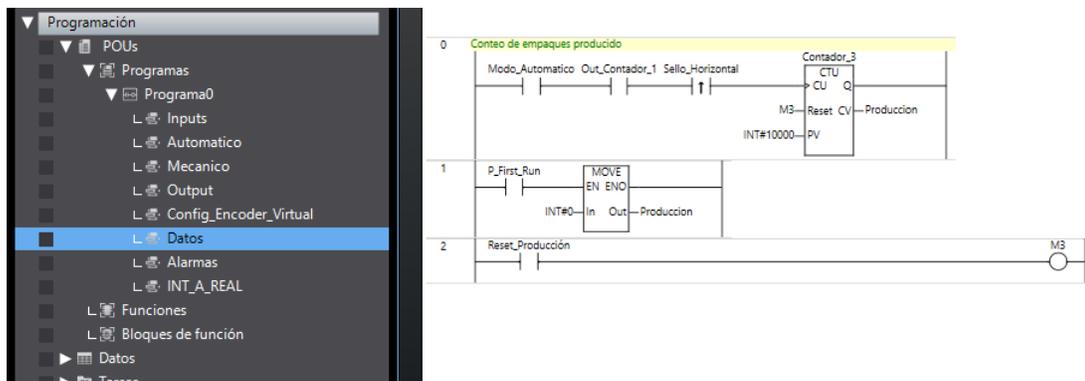


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.2.7. Sección de datos

En esta sección se realiza la programación para el conteo de la cantidad de paquetes producidos durante el funcionamiento de la máquina dosificadora de viscosos, la programación se muestra en la figura 127.

Figura 127. Sección de datos

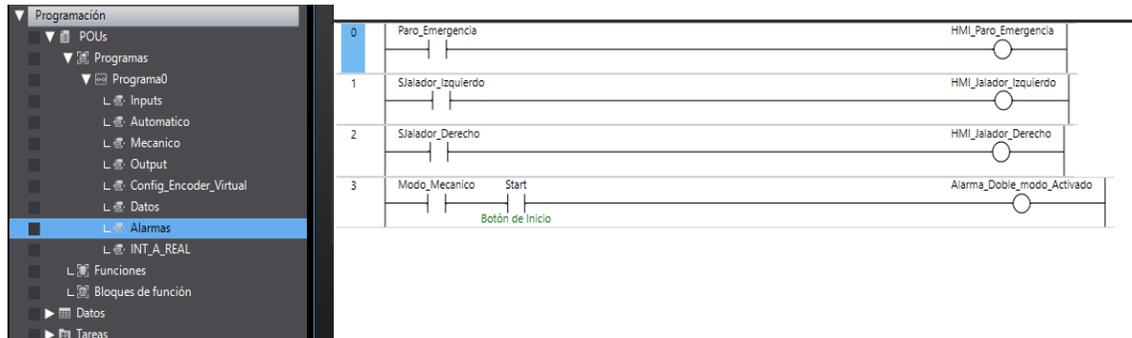


Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.2.8. Sección de alarmas

En la figura 128 se muestra la programación de alarmas importantes como activación de paro de emergencia, jalador derecho y jalador izquierdo posicionados correctamente.

Figura 128. Alarmas



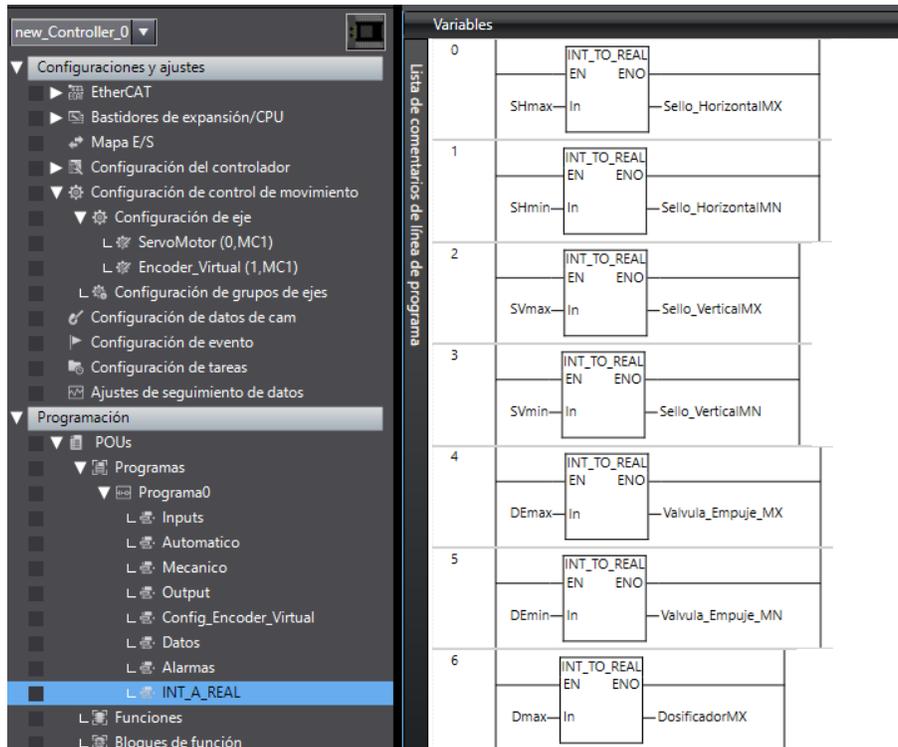
Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

4.2.9. Sección de conversión de unidades

Las figuras 129, 130 y 131 muestran la conversión de datos tipo enteros a datos de tipo real, utilizando el bloque de función INT_TO_REAL, posterior a esto se direcciona las variables para ser utilizadas desde la HMI para transmitir/recibir datos de ajuste de parámetros de la máquina dosificadora.

La conversión de datos de tipo entero a tipo real se realiza debido a que la HMI está configurada para trabajar con datos de tipo real y las variables de programación son de tipo entero.

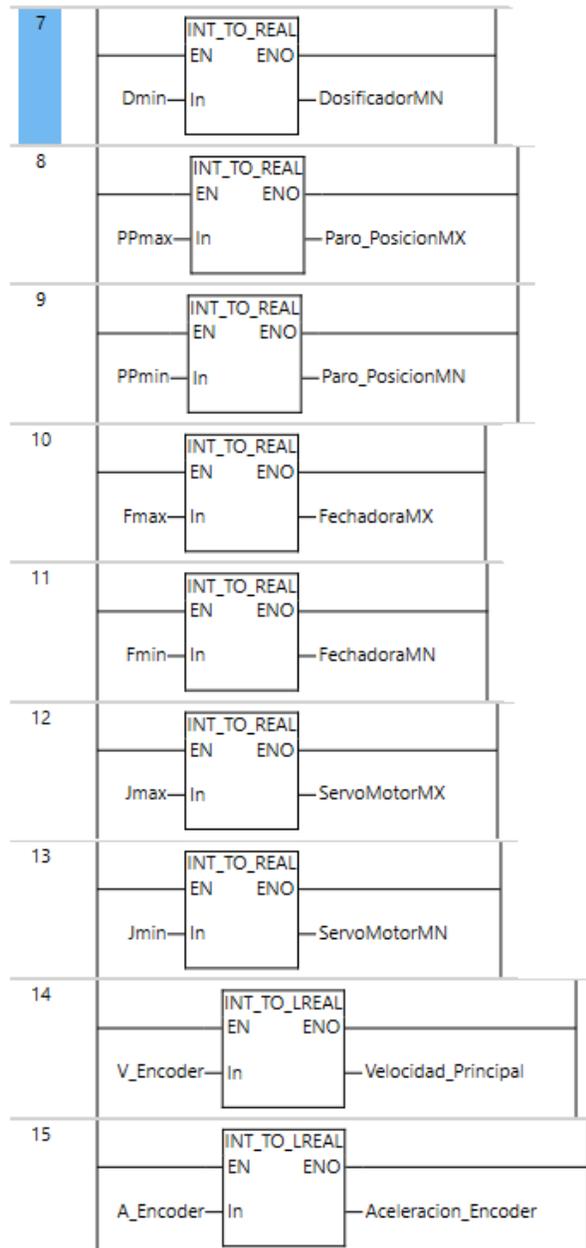
Figura 129. Conversión de entero a real I



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

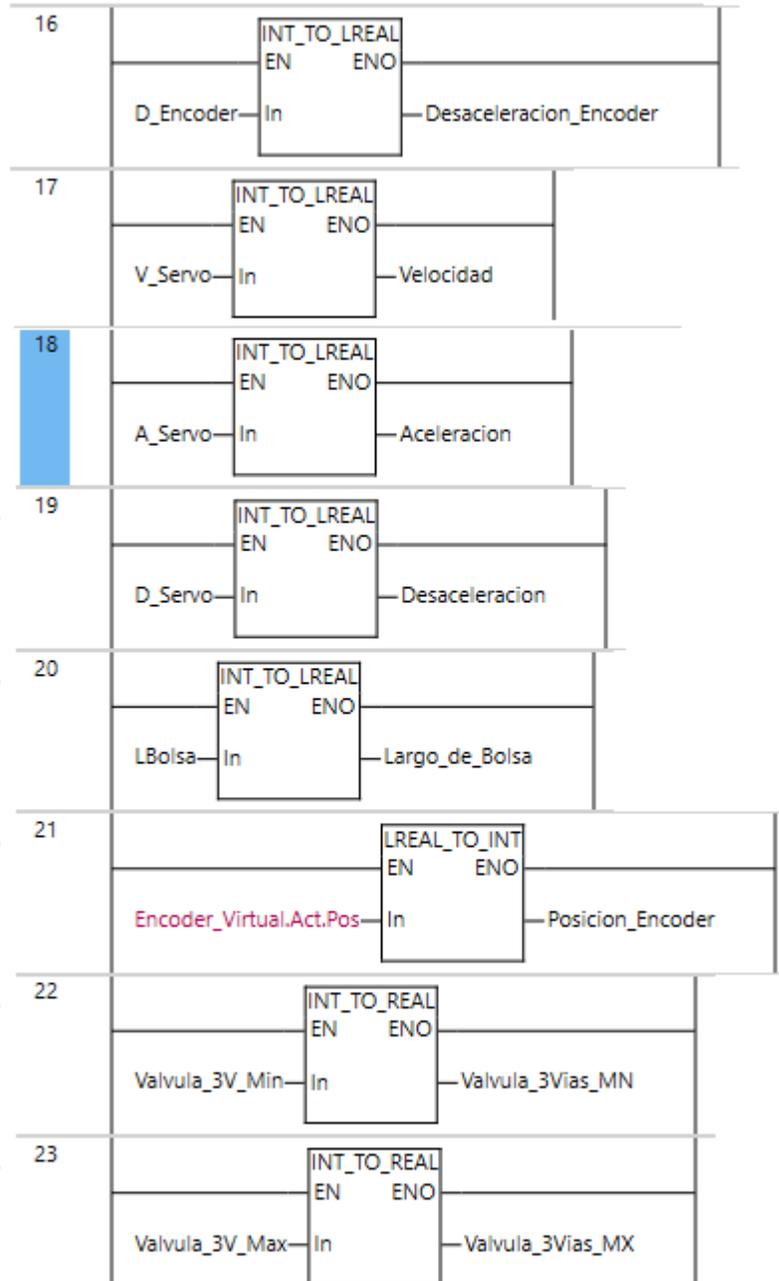
La conversión de datos de tipo entero a tipo real se muestra en la figura 130 esta conversión se realiza debido a que la HMI está configurada para trabajar con datos de tipo real y las variables de programación son de tipo entero, por lo cual si no se realiza esta conversión el PLC no podrá transmitir información para que la HMI pueda interpretarla.

Figura 130. **Conversión de entero a real II**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

Figura 131. **Conversión de entero a real III**



Fuente: elaboración propia, realizado con Sysmac Studio V 1.45.

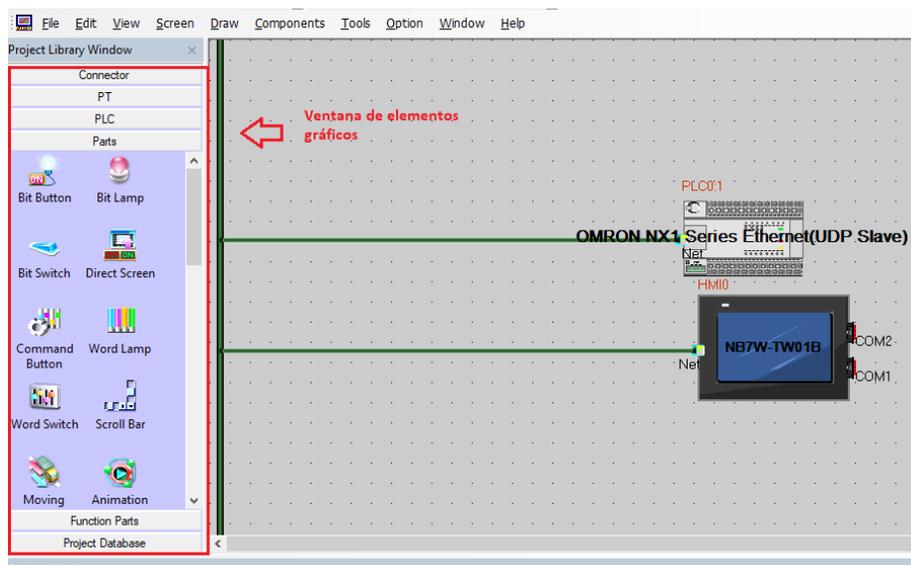
4.3. Programación de HMI

El diseño del programa de usuario de la HMI se realizó por medio del *software* de diseño NB-Designer. El diseño de programación se realizó de forma gráfica agregando botones, cada uno con una función específica.

4.3.1. Ventana de elementos gráficos

La figura 132 muestra la ventana de elementos gráficos de programación, el tipo de conexión para comunicación, el tipo de HMI, el PLC, los elementos el PLC, la base de datos de proyecto y los elementos de función para el envío/recepción de información entre pantalla/PLC.

Figura 132. Ventana de elementos gráficos



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.1.1. **Bit Switch**

Este elemento gráfico es utilizado como interruptor o *switch* para habilitar o deshabilitar un mecanismo de la máquina dosificadora desde pantalla, posee 2 estados que indican si el interruptor está presionado, como se muestra en la figura 133.

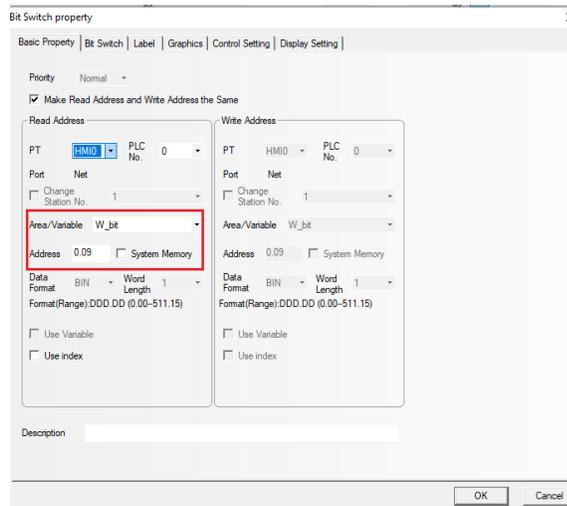
Figura 133. **Interruptor de bits**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

El *Bit Switch* debe de configurarse con dirección de memoria tipo W, esta dirección se envía al PLC por protocolo de comunicación Ethernet IP para activar una variable dentro del programa de usuario del PLC. La dirección se asigna como se muestra en la figura 134.

Figura 134. Configuraciones de interruptor

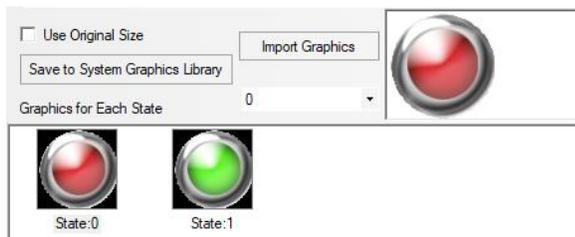


Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.1.2. Bit lamp

Es un elemento gráfico, su función es similar al de una lámpara, se encuentra apagado cuando el mecanismo asociado al no está activo y se enciende cuando el mecanismo se encuentra activo.

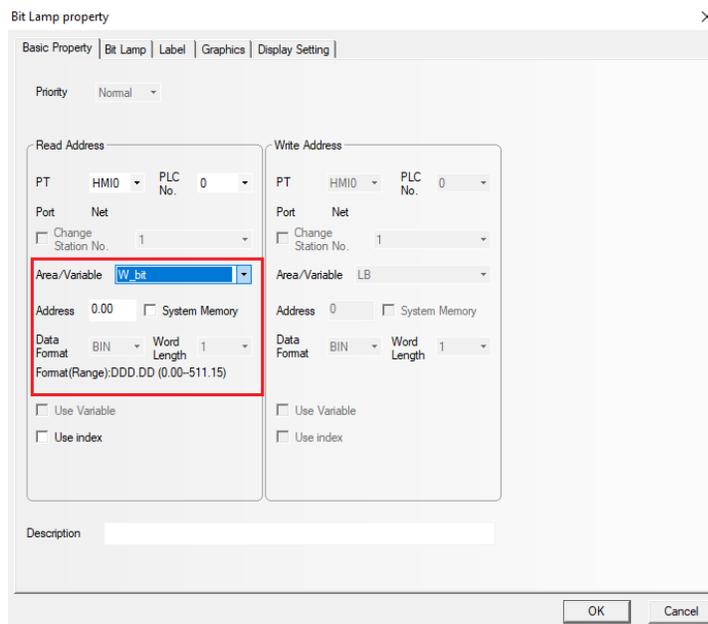
Figura 135. Bit lamp



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

Este botón debe de ser configurado con una dirección de tipo W, esta dirección W activará la variable con la misma dirección dentro del programa de usuario del PLC. La dirección se asigna como se muestra en la figura 136.

Figura 136. **Configuración Bit lamp**

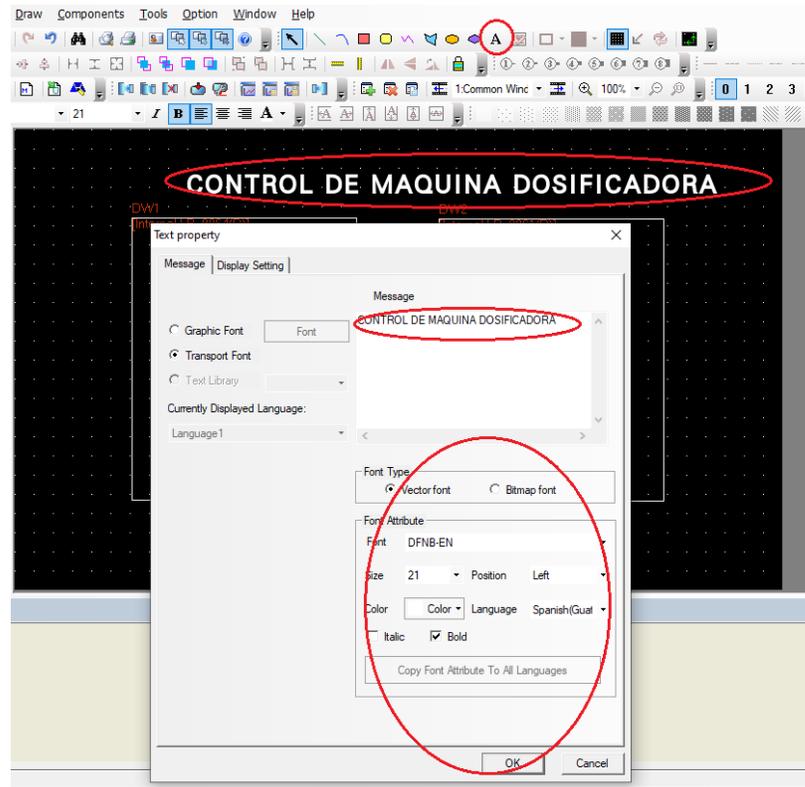


Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.1.3. ***Text property***

Este elemento se encuentra ubicado en la ventana de herramientas en la parte superior de la pantalla, es utilizado para agregar textos dentro del diseño de las pantallas, a este tipo de texto se le pueden cambiar atributos como tamaño de letra, tipo de letra y color. La configuración se muestra en la figura 137.

Figura 137. Texto de pantalla

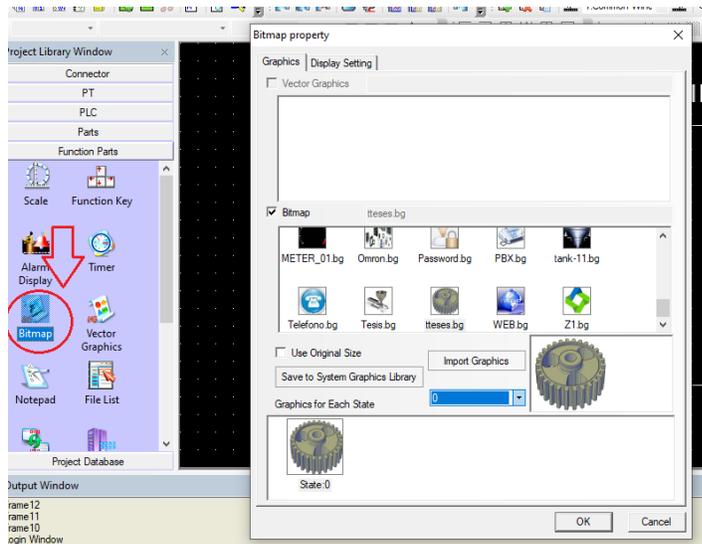


Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.1.1. Bit map

Este elemento se encuentra en la pestaña *Function Parts* como se muestra en la figura 138, es el único formato de imagen gráfica admitido por NB-Designer, no se le coloca dirección debido a que es utilizado para agregar imágenes representativas del proceso.

Figura 138. **Bit map**

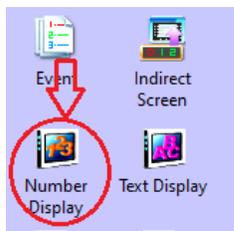


Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.1.2. **Number display**

Es un *display* gráfico utilizado para visualizar datos en tiempo real, a este elemento se le coloca una dirección de tipo D. Envía datos numéricos desde el programa de usuario la HMI hacia el programa de usuario del PLC.

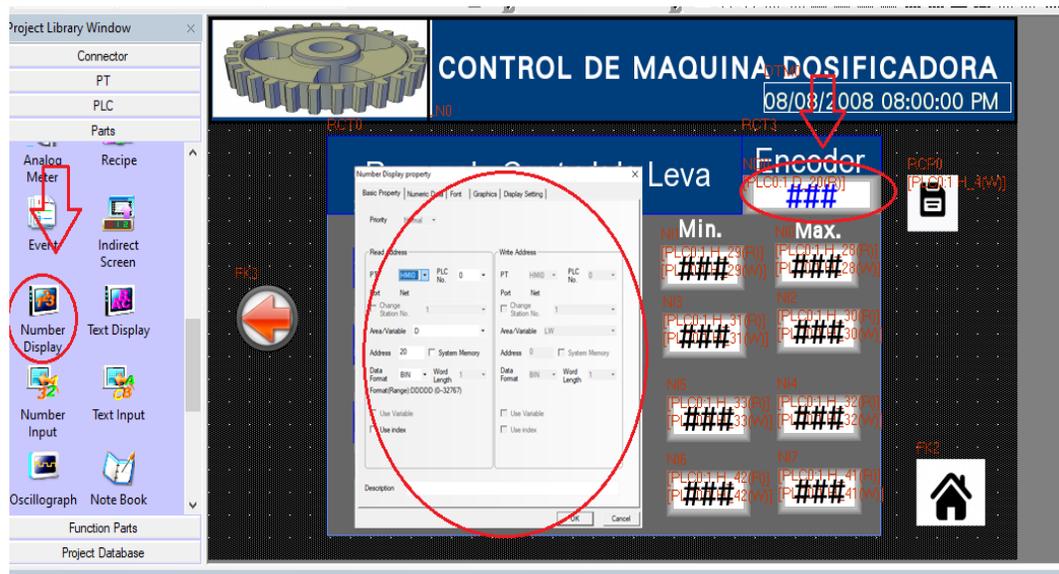
Figura 139. **Display numérico**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

Se realiza la selección desde la ventana de elementos gráficos de programación y se arrastra hacia al área de trabajo para ser agregado, Las propiedades se configuran como se muestra en la figura 140.

Figura 140. Configuración display numérico



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.1.3. Number Input

Este elemento es utilizado para ingresar los parámetros numéricos correspondientes a las levas de la máquina dosificadora, cada leva tendrá un valor máximo y un valor mínimo de funcionamiento. Por cada leva se utilizan 2 entradas numéricas como se muestra en la figura 141.

Este elemento es para ingreso de datos de tipo numérico desde la HMI hacia el PLC se le debe de colocar una dirección tipo D. Los elementos de entrada numérica se muestran en la figura 141

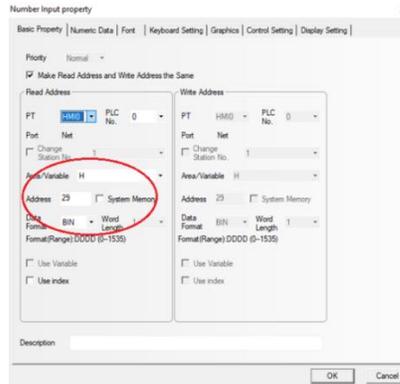
Figura 141. **Entrada numérica**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

Al dar doble clic sobre el elemento de entrada numérica se abrirá una ventana para editar las configuraciones, en la ventana de configuraciones se puede encontrar el direccionamiento que tendrá esa entrada numérica para enviar posteriormente los datos al área de memoria especificada como se muestra en la figura 142.

Figura 142. **Configuración entrada numérica**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.1.4. **Function key**

Este elemento gráfico es utilizado como botón para cambia entre pantallas, ingresar a las configuraciones, ingresar a parámetros de levas, ingresar a lectura de datos o cambio de velocidades, estos botones se muestran en la figura 143.

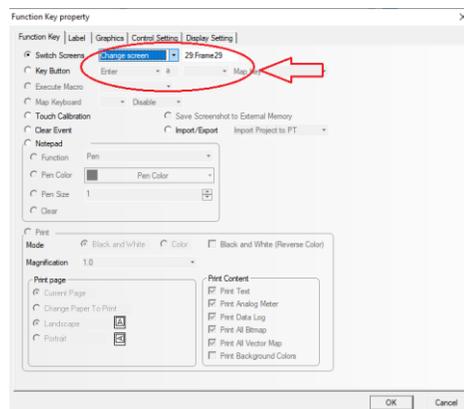
Figura 143. **Tecla de funciones**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

Para agregar este tipo de botón se debe de arrastrar desde la ventana de elementos hacia el área de trabajo, al dar doble clic sobre este se abrirá una pestaña de configuraciones donde se debe indicar el número de pantalla al que se redirigirá una vez presionarlo, como se muestra en la figura 144.

Figura 144. **Configuración de tecla de funciones**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.2. **Direccionamiento**

La HMI se comunica con el PLC por medio de protocolo Ethernet/IP a través de una red de área local, para lograr que la HMI transmita o reciba datos del PLC cada botón y variable utilizada en el diseño de la pantalla debe tener una dirección específica, esta dirección debe coincidir con la dirección de la variable que se manipula dentro del programa de usuario del PLC, con esto se podrá realizar cambios o configurar parámetros dentro PLC desde la HMI.

La tabla XI muestra el nombre de las variables tipo W utilizadas en el programa de usuario del PLC y en programa de usuario de la HMI respectivamente, la dirección tipo W asociada a cada variable debe ser la misma.

Tabla XI. **Variables con direcciones tipo W**

Variable Sysmac Studio-PLC	Variable-HMI	Dirección	Elemento
Modo_Mecanico	Modo Mecánico	W0.01	Bit <i>Switch</i>
HMIReset_Calentamiento	Prueba de calentamiento	W0.02	Bit <i>Button</i>
Habilitar_Servo	Habilitar ServoDrive	W0.03	Bit <i>Switch</i>
Activador_Jalador	Habilitar ServoMotor	W0.04	Bit <i>Switch</i>
Activar_Sellador_Horizontal	Sellador Horizontal	W0.05	Bit <i>Switch</i>
Activar_Sellador_Vertical	Sellador Vertical	W0.06	Bit <i>Switch</i>
Activador_Dosificador	Dosificador	W0.07	Bit <i>Switch</i>
Activador_Fechadora	Fechadora	W0.08	Bit <i>Switch</i>
Activador_Valvula_Empuje	Dosificador Empuje	W0.09	Bit <i>Switch</i>
mSello_Vertical	Sello Vertical	W4.00	Bit <i>Switch</i>
mSello_Horizontal	Sello Horizontal	W4.01	Bit <i>Button</i>
mVDosificado_Empuje	Dosificador Empuje	W4.02	Bit <i>Button</i>
mDosificador	Dosificador	W4.03	Bit <i>Button</i>
mValvula_3Vias	Válvula de 3 vías	W4.04	Bit <i>Button</i>
mFreno_Film	Colocar Freno	W4.05	Bit <i>Button</i>
mTobogan_Producto	Tobogán de producto	W4.06	Bit <i>Button</i>
mActuador_Llenado_Tanque	Actuador llenado de tanque	W4.07	Bit <i>Button</i>
mFechadora	Fechadora	W4.08	Bit <i>Button</i>
mBomba_Llenado	Bomba de llenado	W4.09	Bit <i>Switch</i>
mCilindros_Jaladores	Cilindros Jaladores	W4.10	Bit <i>Switch</i>
Job_Servo	Prueba Servomotor	W4.11	Bit <i>Button</i>
Cilindros_Jaladores_HMI	Cilindros de Jalador	W5.00	Bit <i>Switch</i>
Activador_Temperaturas	Temperaturas	W5.01	Bit <i>Switch</i>
Freno_Film_HMI	Cambio de Bobina Film	W5.02	Bit <i>Switch</i>
Valvula_3Vias_HMI	Válvula de 3 vías	W5.03	Bit <i>Switch</i>
Activador_Tobogan	Tobogán de producto	W5.04	Bit <i>Switch</i>
Actuador_Llenado_Tanque_HMI	Actuador de tanque	W5.05	Bit <i>Switch</i>
Bomba_Llenado_HMI	Bomba de llenado	W5.06	Bit <i>Switch</i>
Reset_Producción	Reset Producción	W5.07	Bit <i>Switch</i>
HMI_Paro_Emergencia	Hongo de Emergencia	W6.00	Bit <i>Lamp</i>
HMI_Jalador_Izquierdo	Jalador izquierdo fuera de Posición	W6.01	Bit <i>Lamp</i>
HMI_Jalador_Derecho	Jalador derecho fuera de posición	W6.02	Bit <i>Lamp</i>
Alarma_Doble_modo_Activado	Modo Mecánico Activo	W6.03	Bit <i>Lamp</i>

Continuación de la tabla XI.

mFreno_Film_2	Soltar Freno	W6.10	Bit <i>Button</i>
----------------------	---------------------	--------------	--------------------------

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

La tabla XII muestra el nombre de las variables tipo D utilizadas en el programa de usuario del PLC y en programa de usuario de la HMI respectivamente, la dirección tipo D asociada a cada variable debe ser la misma.

Tabla XII. **Variables con direcciones tipo D**

Variable Sysmac Studio-PLC	Variable-HMI	Dirección	Elemento
Producción	Cantidad de Bolsas Producidas	D10	<i>Number Input</i>
Cambio_Tobogan	Cantidad de Piezas	D18	<i>Number Input</i>
Posicion_Encoder	<i>Encoder</i>	D20	<i>Number Display</i>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

En la tabla XIII muestra el nombre de las variables tipo H utilizadas en el programa de usuario del PLC y en el programa de usuario de la HMI respectivamente, la dirección tipo H asociada a cada variable debe ser la misma.

Tabla XIII. **Variables con direcciones tipo H**

Variable Sysmac Studio-PLC	Variable-HMI	Dirección	Elemento
SHmax	Sellador Horizontal Máx.	H20	<i>Number Input</i>
SHmin	Sellador Horizontal Min.	H21	<i>Number Input</i>
SVmax	Sellador Vertical Máx.	H22	<i>Number Input</i>
SVmin	Sellador Vertical Min.	H23	<i>Number Input</i>
DEmax	Dosificador Empuje Máx.	H24	<i>Number Input</i>
DEmin	Dosificador Empuje Min.	H25	<i>Number Input</i>

Continuación de la tabla XIII.

Dmax	Dosificador Máx.	H26	Number Input
Dmin	Dosificador Min.	H27	<i>Number Input</i>
PPmax	Paro en Posición Max.	H28	<i>Number Input</i>
PPmin	Paro en posición Min.	H29	<i>Number Input</i>
Fmax	Fechadora Max.	H30	<i>Number Input</i>
Fmin	Fechadora Min.	H31	<i>Number Input</i>
Jmax	Jalador Máx.	H32	<i>Number Input</i>
Jmin	Jalador Min.	H33	<i>Number Input</i>
V_Encoder	Velocidad Principal	H34	<i>Number Input</i>
A_Encoder	Aceleración	H35	<i>Number Input</i>
D_Encoder	Desaceleración	H36	<i>Number Input</i>
V_Servo	Velocidad Servo	H37	<i>Number Input</i>
A_Servo	Aceleración	H38	<i>Number Input</i>
D_Servo	Desaceleración	H39	<i>Number Input</i>
Lbolsa	Largo de la Bolsa	H40	<i>Number Input</i>
Valvula_3V_Max	Válvula de 3 Vías	H41	<i>Number Input</i>
Valvula_3V_Min	Válvula de 3 Vías	H42	<i>Number Input</i>
D_Servo	Desaceleración	H39	<i>Number Input</i>
Lbolsa	Largo de la Bolsa	H40	<i>Number Input</i>
Valvula_3V_Max	Válvula de 3 Vías	H41	<i>Number Input</i>
Valvula_3V_Min	Válvula de 3 Vías	H42	<i>Number Input</i>

Fuente: elaboración Propia, realizado con Microsoft Excel 365.

Los 3 tipos de memoria utilizados para el direccionamiento y programación del PLC con la HMI son las memorias de tipo W, D, H como se muestra en tablas de la XI a la XIII.

4.3.3. Pantalla de control principal

La pantalla inicial de la máquina donde se encuentran las configuraciones principales de la máquina como el apartado de velocidades, levas, ajustes, datos y el tipo de presentación de producto se muestra en la figura 145.

Figura 145. Control principal



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.3.1. Velocidades

Al seleccionar la pestaña de velocidades de la pantalla de control principal de la figura 145, se ingresa a la configuración de la cantidad de ciclos por minuto de la máquina dosificadora, aquí se pueden realizar los ajustes necesarios para el *encoder* y ajustes necesarios para el servomotor.

4.3.3.1.1. Ajustes de *encoder*

En este apartado se configura la cantidad de empaques que la máquina dosificadora fabricará en el transcurso de un minuto.

La máquina está diseñada para trabajar a un máximo de 45 empaques por minuto esto indica que la máquina dosificadora debe de realizar 45 ciclos en un minuto. 1 ciclo representa 360 ° sexagesimales.

La cantidad de grados sexagesimales que se debe recorrer durante el lapso de 1 minuto para obtener 45 ciclos por parte de la máquina está dada por:

Ecuación 5:

$$\text{Grados totales} = \text{Cantidad de empaques totales} \times 360^\circ.$$

$$\text{Grados totales} = 45 \text{ Empaques} \times 360^\circ = 16,200^\circ.$$

Para determinar velocidad principal de la máquina que representa la velocidad del *encoder* virtual, se realiza el siguiente el cálculo:

Ecuación 6:

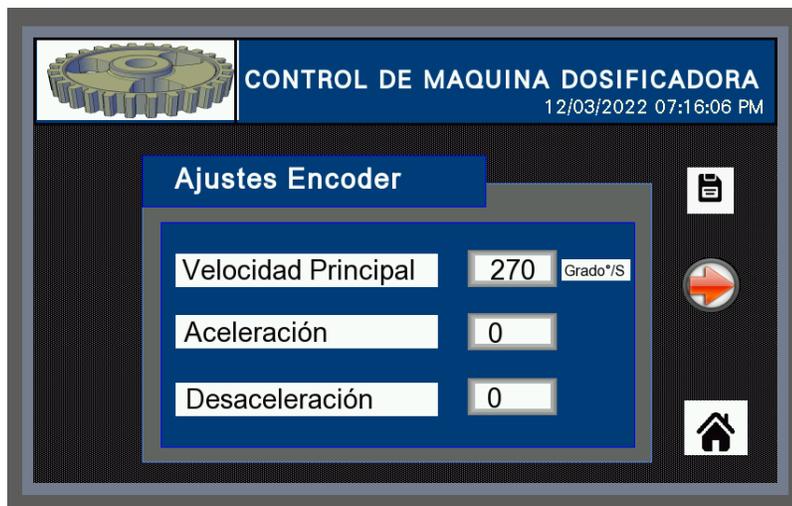
$$v_{\text{encoder}} = \frac{\text{Grados totales} [^\circ]}{\text{Tiempo} [s]}$$

$$v_{\text{encoder}} = \frac{16,200^\circ}{60 s} = 270^\circ/s$$

La aceleración y deceleración de los mecanismos de la máquina dosificadora se colocan a valor 0 debido a que el movimiento de cada mecanismo

durante todo el proceso se debe mantener a velocidad constante. El ingreso de los datos para los ajustes de *encoder* se muestran en la figura 146.

Figura 146. **Velocidad principal de la máquina**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.3.1.2. **Ajuste Servomotor**

Este apartado pertenece a la pestaña de ajustes de velocidad de la pantalla principal, está diseñado para ajustar la velocidad de arrastre de material de empaque por el servomotor.

Durante cada ciclo, el servomotor es el encargado de arrastrar el material de empaque para que dentro de este se pueda depositar el material viscoso alimenticio. La máquina está diseñada para trabajar a 45 empaques por minuto, el tiempo que tarda la máquina en realizar un solo empaque lo podemos se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 7:

$$t_{1 \text{ ciclo}} = \frac{1 \text{ Min. o } [60 \text{ s}]}{45 \text{ Empaques}} = \frac{4}{3} \text{ s/Empaque} \cong 1.333\bar{3} \text{ s/Empaque.}$$

El servomotor debe funcionar durante la mitad de un ciclo para asegurar que el film o material de empaclado cumpla con el tamaño solicitado. La cantidad de film que debe de arrastrar para este caso es de 15 centímetros.

Si 1 ciclo dura 1.3333 segundos por empaque completo, el tiempo de arrastre se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 8:

$$t_{\text{arrastre}} = \frac{t_{1 \text{ ciclo}}}{2} = \frac{1.333\bar{3} \text{ s}}{2} = 0.666\bar{6} \text{ s}$$

La velocidad para el arrastre estará dada por:

Ecuación 9:

$$v_s = \frac{\text{Cantidad de film}}{t_{\text{arrastre}}} = \frac{150 \text{ mm}}{0.666\bar{6} \text{ s}} \cong 225 \text{ mm/s}$$

A esta velocidad se le aumenta un 40 % obteniendo finalmente una velocidad para servomotor de:

Ecuación 10:

$$v_{\text{Servomotor}} = v_s \times 40 \% \\ v_{\text{Servomotor}} = 225 \text{ mm/s} \times 40 \% \cong 315 \text{ mm/s}$$

La aceleración se coloca a valor 0 debido a que se emplea velocidad constante. Los valores de velocidad del servomotor aceleración y desaceleración se ingresan como se muestra en la figura 147.

Figura 147. **Velocidad de arrastre para *Film***



Fuente: elaboración propia, empleando NB-Designer V 1.5.

4.3.3.2. **Levas**

La pestaña levas de la pantalla de control principal está diseñada para configurar el rango de entrada de cada leva de la máquina dosificadora, el valor numérico de cada leva se encuentra dentro del rango de valores de 0 ° a 360 ° grados.

El rango de valores para cada mecanismo (leva) se ingresa como se muestra en la figura 148 y figura 149.

Figura 148. Rango de levas I



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

Figura 149. Rango de levas II



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.3.3. Ajustes

En la pestaña ajustes de la pantalla de control principal se ingresa a las configuraciones de modo automático y a las configuraciones del modo mecánico de la máquina dosificadora, como se muestra en la figura 150.

Figura 150. Configuración de ajustes



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.3.3.1. Modo manual

Al seleccionar el modo manual en la pantalla de modo de funcionamiento como se muestra en la figura 150, se ingresa al modo de pruebas donde se realizan las pruebas de funcionamiento de cada mecanismo, los mecanismos se activan o desactivan por medio de un *switch* como se muestra en las figuras de la 151 a la 155. Durante el modo de pruebas la máquina se encuentra totalmente parada, permitiendo únicamente la movilización de los mecanismos que se activen por medio del *switch*.

La figura 151 muestra la pantalla para la activación del modo mecánico, prueba de calentamiento, sello vertical y sello horizontal.

Figura 151. **Modo de pruebas I**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

La figura 152 muestra la pantalla para la activación del tobogán de producto, actuador llenado de tanque, fechadora y bomba de llenado por medio de los *switches* colocados en la parte izquierda mostrados en color rojo, se puede activar y desactivar cada mecanismo según sea requerido por el usuario o por el operario de la máquina dosificadora.

Figura 152. **Modo de pruebas II**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

La figura 153 muestra la pantalla para la activación del dosificador de empuje, dosificador y la válvula de 3 vías.

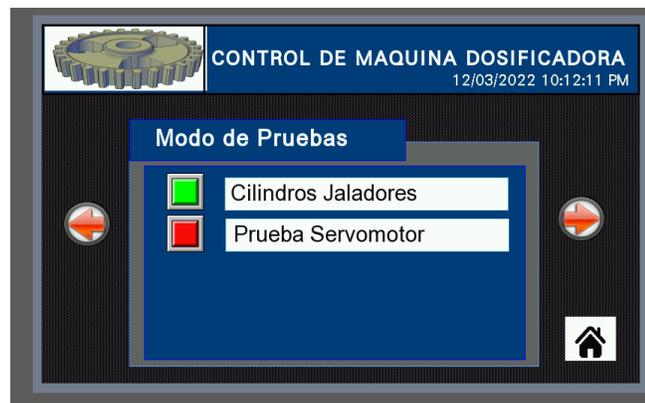
Figura 153. **Modo de pruebas III**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

La figura 154 muestra pantalla de la activación de los cilindros y prueba para servomotor.

Figura 154. **Modo de pruebas IV**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

La figura 155 muestra la pantalla de activación de los mecanismos que permiten el cambio de bobina para el material de empaque (*Film*).

Figura 155. **Cambio de bobina de *Film***



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.3.2. Modo automático

A este modo de funcionamiento se ingresa como se muestra en la figura 150, esta función permite activar o desactivar un mecanismo (leva) de la máquina dosificadora, cuando la máquina está en funcionamiento.

Figura 156. **Modo automático I**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

En la figura 156 se muestran las pantallas que permiten activar o desactivar la temperatura, los cilindros de jalador, el sellador horizontal, el sellador vertical, en la figura 157 se muestra la pantalla que permite activar el tobogán de producto, el actuador de tanque, la fechadora y la bomba de llenado.

Figura 157. **Modo automático II**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

En la figura 158 se muestra la pantalla que permite activar o desactivar el dosificador de empuje, el dosificador y la válvula de 3 vías.

Figura 158. **Modo automático III**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

En la figura 159 se muestra la pantalla que permite activar o desactivar el servodrive y el servomotor.

Figura 159. **Modo automático IV**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.3.4. Datos

En este apartado de la pantalla de control principal se ingresa la información de la cantidad de empaques producidos, el largo de la bolsa, la cantidad de piezas fabricadas y el nivel del producto dentro del tanque de dosificado.

4.3.3.4.1. Producción

En este apartado se visualiza la cantidad de empaques que se han producido durante una jornada de producción, se puede encontrar en este mismo apartado el largo de la bolsa del empaque que está siendo producido, como se muestra en la figura 160.

Figura 160. **Producción**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.3.4.2. **Tobogán de producto**

En este apartado de la pestaña de datos se visualizan la cantidad de piezas distribuidas por el tobogán de producto como se muestra en la figura 161.

Figura 161. **Tobogán de producto**



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

4.3.3.4.3. Nivel de producto

Este apartado pertenece a la pestaña de datos, podemos visualizar de forma gráfica por medio de un medidor de nivel, el nivel de producto dentro del tanque dosificador como se muestra en la figura 162.

Figura 162. Nivel de producto



Fuente: elaboración propia, realizado con NB-Designer V 1.5.

CONCLUSIONES

1. Los conceptos básicos sobre automatización industrial son importantes, a través de ellos se puede entender el alcance de la cantidad de aplicaciones que se pueden desarrollar para convertir procesos dentro de la industria que se consideran como lentos u obsoletos a procesos mucho más eficiente en cuanto a velocidad y precisión.
2. En el sistema de control de la máquina dosificadora se utilizaron elementos de control para lectura de señales externas, también se utilizaron elementos captadores encargados de dar retroalimentación del proceso de fabricación convirtiendo las señales del entorno industrial a señales que puedan ser leídas por los elementos de control, finalmente se utilizaron los elementos actuadores encargados de ejecutar la tarea final a través de movimiento mecánico. Los elementos captadores colocados en las entradas físicas del PLC y su descripción se encuentran en la tabla IX página 144. Los elementos actuadores colocados en las salidas físicas del PLC con su descripción están descritos en la tabla X página 153.
3. Para el diseño del sistema eléctrico de la máquina dosificadora se utilizó un voltaje de alimentación de 208 VAC con un consumo de corriente total de 11.82 A según tabla VII, como dispositivo de alimentación contra falla de suministro de corriente eléctrica se utilizó un UPS de 3 KVA/2.7 KW de capacidad con voltaje de entrada y salida de 208 VAC, para la medición de puesta a tierra se obtuvo un valor de medición de 1.3 Ω como se muestra en la figura 54 del capítulo 2 de diseño de instalación eléctrica y dimensionamiento de equipo electrónico.

4. La programación del PLC se diseñó con el *software* Sysmac Studio V 1.45 utilizando el lenguaje de programación Ladder, la interfaz de tipo gráfica dentro del *software* permitió realizar simulaciones a través de un entorno virtual incorporado que ayudó a optimizar el proceso de programación y puesta en marcha, en la página 145 la figura 118 muestra el árbol de programación principal.

5. Los mandos de control para la pantalla HMI se diseñaron con el *software* de programación NB-Designer V 1.5, para la programación se utilizaron elementos gráficos direccionados a variables del programa de usuario del PLC, esto permitió realizar las configuraciones o ajustes de parámetros en tiempo real desde la pantalla HMI. En la página 171 la figura 145 muestra el diseño de la pantalla de mandos de control principal de la HMI.

RECOMENDACIONES

1. Actualizar constantemente los conceptos de automatización y control en la industria con el propósito de implementar actualizaciones que sean necesarias o posibles al equipo electrónico industrial de la máquina dosificadoras para evitar en lo posible que la máquina falle o se vuelva obsoleta, disminuyendo su tiempo de vida o su porcentaje de producción.
2. Evitar la obstrucción de los sellos verticales y horizontales debido a que son elementos importantes del sistema de control, con esto se lograra disminuir lectura de temperatura erróneas que provoquen una deficiencia en el proceso de acabado del producto.
3. Considerar el consumo de potencia de los equipos eléctricos y electrónicos al expandir la cantidad de módulos de E/S del PLC para evitar que los dispositivos que proporcionan la protección eléctrica se accionen debido a un consumo mayor de corriente.
4. Expandir la cantidad en E/S físicas por medio de módulos de expansión, se debe recordar realizar el mapeo de cada entrada y salida agregada dentro del programa de usuario del PLC para anticiparse ante una posible falla que pueda estropear la entrada o salida física, el mapeo facilita el cambio de una entrada o salida física estropeada a otra funcional sin alterar la estructura de programación.

5. Verificar que los elementos de las pantallas de mandos de control de la HMI se direccionen correctamente, colocando a los Bit *Switch* memorias tipo W y memoria tipo D a elementos de entrada numérica.

REFERENCIAS

1. Actuadores neumáticos. (2012). *Introducción automática*. Recuperado de https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/actuadores_neumaticos.html.
2. Anónimo. (2 de noviembre de 2013). Arquitectura PLC. (Mensaje en un blog). Recuperado de <http://programarplcomron.blogspot.com/>.
3. Automatización industrial: Áreas de aplicación para ingeniería. (2020). *Fgsalazar*. Recuperado de [Ehttps://fgsalazar.net/LANDIVAR/INGPRIMERO/boletin10/URL_10_MEC01.pdf](https://fgsalazar.net/LANDIVAR/INGPRIMERO/boletin10/URL_10_MEC01.pdf)
4. Controlador NX1P2-9024DT1 (2019). *OMRON Corporation*. Recuperado de <https://industrial.omron.es/es/>.
5. Controlador 1S, Servo de proposito general Sysmac. (2016). *Motion Control*. Recuperado de <https://www.motioncontroltips.com/faq-what-is-a-servo-drive/>.
6. Control de temperatura digital E5CC. (2011). *OMRON Corporation*. Recuperado de <https://docs.rs-online.com/a402/0900766b8128f8d1.pdf>.
7. Dispositivos clave para la automatización y control industrial. (2021). *AUTYCOM*. Recuperado de <https://www.autycom.com/dispositivos-clave-para-automatizacion-y-control-industrial/>.

8. Dispositivos piloto. (2017). *ABB*. Recuperado de https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SFC151007C02__&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch.
9. Electroválvula 5/2. (2018). *SMC Válvulas*. Recuperado de https://content2.smcetech.com/pdf/VQZ1000-2000-3000_ES.pdf.
10. Fuente de alimentación S8VK-S03024. (2019). *OMRON Corporation*. Recuperado de <https://industrial.omron.es/es/products/S8VK-S03024>.
11. Guardamotor. (2018). *ABB*. Recuperado de <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/control-y-proteccion-demotores/guardamotor>.
12. La Revolución Industrial. (2014). *Historia universal*. Recuperado de <https://mihistoriauniversal.com/edadcontemporanea/revolucionindustrial>.
13. Machine Automation Controller NX1P2. (2020). *OMRON Corporation*. Recuperado de https://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/nx1p_p116-e1_9_2_csm1055399.pdf?id=3650.
14. Martínez, Alexis. (2 de junio de 2013). Árbol de levas (Mensaje en un blog). Recuperado de <http://alexis-mr.blogspot.com/2013/06/arbol-de-levas.html>.

15. Módulos de expansión. (2019). *OMRON Corporation*. Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v4/nx-series_system_unit_-_nx-pd_pf_pc_tbx_datasheet_en.pdf.
16. Morales, Manolo (6 de marzo de 2020). PLC Modular. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/17992613/>.
17. ¿Qué es la industria 4.0?. (2017). *Geinfor*. Recuperado de <https://geinfor.com/blog/industria-40/>.
18. Redes Ethernet y protocolo TCP/IP. [2019]. *Prometec*. Recuperado de <https://www.prometec.net/tcpip/>.
19. RELÉ. (2010). *Área de tecnología*. Recuperado de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/rele.html>.
20. Segunda Revolución Industrial. (2016). *Economipedia*. Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/tercera-revolucionindustrial.html>.
21. Serie NB, HMI de altas prestaciones a su alcance. (2019). *OMRON Corporation*. Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/es/v17/v412_nb_series_hmi_datasheet_es.pdf.
22. Servo motor 1S. (2019). *OMRON Corporation*. Recuperado de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v3/i189e_r88m-1_1s-series_servo_motor_datasheet_en.pdf.

23. Switching hub WS4. (2005). *OMRON Corporation*. Recuperado de <https://www.ia.omron.com/products/family/2005/dimension.html>.
24. Sysmac always in control. (2020). *OMRON Corporation*. Recuperado de https://drive.google.com/file/d/1UrqzBCJGW5Q49r9uNx3KLJ_C4D9zrndA/view.
25. Tercera Revolución Industrial. (2016). *Economipedia*. Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/tercera-revolucionindustrial.html>.
26. Uso de termopares. (2016). *WIKAIN*. Recuperado de https://www.wikapolska.pl/upload/DS_IN0023_es_es_62452.pdf.
27. What is a servodrive?. (2016). *Motion Control*. Recuperado de <https://www.motioncontroltips.com/faq-what-is-a-servo-drive/>.