



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO CON
CONTROL HMI-SCADA PARA EL PROCESO DE EMBOTELLADO DE
LÍQUIDOS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: DISPOSITIVO TECNOLÓGICO

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

AUTOR: CRISTIAN ESTEBAN CHILUISA CHILUISA

TUTOR: ING. MARCO ANTONIO VITERIBARRERA

Riobamba – Ecuador

2020

@ 2020 Cristian Esteban Chiluisa Chiluisa.

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

Yo, CRISTIAN ESTEBAN CHILUISA CHILUISA, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

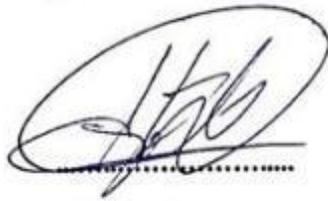
Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Riobamba, 20 de enero de 2020

Cristian Esteban Chiluisa Chiluisa

050342255-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Dispositivo tecnológico. **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO CON CONTROL HMI-SCADA PARA EL PROCESO DE EMBOTELLADO DE LÍQUIDOS”**, realizado por el señor **CRISTIAN ESTEBAN CHILUISA CHILUISA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA (día-mes-año)
Ing. Andrés Morocho PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		<i>22-01-2020</i>
Ing. Marco Viteri Barrera DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		<i>22-01-2020</i>
Ing. Fausto Cabrera Aguayo MIEMBRO DE TRIBUNAL		<i>22-01-2020</i>

DEDICATORIA

A mis padres Charles y Marlene por ser el pilar fundamental de mi vida, por su apoyo incondicional inigualable a través del tiempo, por sus consejos para llegar a ser una mejor persona, con amor este triunfo es por ustedes y para ustedes.

Cristian Ch.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera, por ser la mayor fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad, a mi familia quienes de una u otra manera han contribuido a la realización de mi trabajo de titulación, por haberme dado su fuerza y apoyo incondicional por lo cual me han ayudado a llegar hasta donde estoy ahora, logrando mi meta.

Cristian Ch

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xix
RESUMEN.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1 Automatización industrial.....	3
1.1.1 Ventajas y beneficios.....	3
1.1.1.1 Costo óptimo de operación.....	3
1.1.1.2 Alta producción.....	4
1.1.1.3 Productos de alta calidad.....	4
1.1.1.4 Mayor seguridad para el personal.....	4
1.1.1.5 Alta flexibilidad.....	4
1.1.1.6 Información precisa.....	4
1.1.1.7 Reducción de controles de rutina.....	4
1.1.2 Jerarquía de un sistema de automatización.....	5
1.1.2.1 Nivel de campo.....	5
1.1.2.2 Nivel de control.....	5
1.1.2.3 Nivel de supervisión y control de producción.....	5
1.1.2.4 Nivel de información o empresarial.....	5
1.1.2.5 Redes de comunicación industrial.....	5
1.1.3 Tipos de sistemas de automatización de procesos industriales.....	6
1.1.3.1 Automatización fija.....	6
1.1.3.1.1 Automatización programable.....	6
1.1.3.1.2 Automatización flexible.....	6

1.1.4	<i>Ventajas en el campo industrial</i>	6
1.2	PLC	7
1.2.1	<i>Historia de los PLC</i>	7
1.2.2	<i>Estructura general de los PLC</i>	9
1.2.3	<i>Componentes del hardware de un PLC</i>	10
1.2.4	<i>Tipos de PLC</i>	11
1.2.4.1	<i>PLC compactos</i>	11
1.2.4.2	<i>PLC modular</i>	12
1.2.4.3	<i>PLC de tipo montaje en rack</i>	12
1.2.4.4	<i>PLC con panel Operador y Controlador Lógico Programable (OPLC)</i>	13
1.2.5	<i>PLC de arquitectura maestro-esclavo</i>	14
1.2.6	<i>Tipos de señales utilizadas en los PLC</i>	15
1.2.6.1	<i>Señales binarias</i>	15
1.2.6.2	<i>Señales digitales</i>	15
1.2.6.3	<i>Señales analógicas</i>	15
1.2.7	<i>Principios de funcionamiento de los PLC</i>	15
1.3	Entradas salidas de un PLC	17
1.2.6	<i>Digitales:</i>	17
1.2.7	<i>Analógicas:</i>	17
1.3	Comunicaciones	17
1.3.6	<i>La pirámide CIM</i>	17
1.3.1.1	<i>Nivel de E/S (Nivel actuador/sensor)</i>	18
1.3.1.2	<i>Nivel de Campo y Proceso</i>	18
1.3.1.3	<i>Nivel de Control (Nivel de célula)</i>	18
1.3.1.4	<i>Nivel de gestión (Nivel de fábrica)</i>	18
1.4	<i>Redes de comunicación industrial</i>	19
1.4.1	<i>Modelo CIM</i>	19
1.4.1.1	<i>Red de Factoría</i>	19
1.4.1.2	<i>Red de Planta</i>	19

1.4.1.3	<i>Red de Célula</i>	20
1.4.1.4	<i>Bus de Campo</i>	20
1.5	Buses de campo	20
1.5.1	<i>Modelo OSI en las redes industriales</i>	21
1.5.2	<i>Ventajas e inconvenientes de los buses de campo</i>	22
1.5.3	<i>Bus existentes en el mercado</i>	23
1.5.4	<i>Sistemas de comunicación</i>	24
1.5.4.1	<i>AS-I (Actuator Sensor Interface):</i>	24
1.5.4.2	<i>Sistema Profibus:</i>	24
1.5.4.3	<i>Sistema ProfiNet:</i>	24
1.5.4.4	<i>Sistema EtherCat:</i>	24
1.5.4.5	<i>Sistema Modbus:</i>	24
1.6	Programación de PLC	25
1.6.1	<i>Tipos de lenguajes</i>	25
1.6.2	<i>Tipos de datos</i>	26
1.6.3	<i>Identificación de variables</i>	26
1.6.3.1	<i>Variables predefinidas</i>	26
1.6.3.2	<i>Valores no predefinidos:</i>	27
1.6.4	<i>Instrucciones</i>	27
1.6.5	<i>Lenguaje normalizado de esquema de contactos</i>	28
1.6.5.1	<i>Operaciones de memorización y bloques de funciones</i>	29
1.6.5.2	<i>Esquema ladder de funcionamiento de PLC</i>	30
1.6.6	<i>Grafo funcional de control etapa-transición (Grafcet)</i>	30
1.6.6.1	<i>Elementos de un Grafcet</i>	31
1.6.6.2	<i>Repetición de secuencias</i>	32
1.6.6.3	<i>Activación simultánea y sincronización</i>	32
1.6.7	<i>Software de programación</i>	33
1.7	Sistema HMI – SCADA	34
1.7.1	<i>Introducción al sistema scada</i>	34

1.7.2	<i>Ventajas de un sistema SCADA</i>	35
1.7.3	<i>Funciones de un sistema SCADA</i>	35
1.7.4	<i>Software de uso en sistema scada</i>	36
1.7.5	<i>HMI</i>	36
1.7.5.1	<i>Software HMI/SCADA</i>	37
1.8	Gestión de archivo de datos	38
1.8.1	<i>Comunicación</i>	38
1.9	Generalidades del sistema SCADA	39
1.9.1	<i>Sistema</i>	39
1.9.2	<i>Sistema de adquisición de datos</i>	39
1.9.3	<i>Control</i>	39
1.9.4	<i>Control supervisorio</i>	39
1.9.5	<i>Señal analógica</i>	40
1.9.6	<i>Señal digital</i>	40
1.9.7	<i>Tiempo real</i>	40
1.10	Hardware	40
1.10.1	<i>Unidad terminal maestra (MTU)</i>	41
1.10.2	<i>Unidad remota de telemetría (RTU)</i>	41
1.10.3	<i>Red de comunicación</i>	41
1.10.4	<i>Instrumentación de campo</i>	42
1.11	Sistema de mezclado	42
1.11.1	<i>Partes de un sistema de mezclado.</i>	42
1.12	Sistema de dosificado	43
1.12.1	<i>Dosificado de sustancias secas.</i>	44
1.12.2	<i>Dosificador de soluciones</i>	46
1.13	Sistema de transporte	47
1.13.1	<i>Ventajas del uso de bandas transportadoras.</i>	47
1.13.2	<i>Partes de una banda transportadora</i>	48
1.14	Sistema de tapado	49

1.14.1	<i>Tipos de tapado de botellas.....</i>	49
1.14.2	<i>Partes de un sistema de tapado.....</i>	49
1.15	Sistema de paletizado	50
1.15.1	<i>Tipos de sistemas de paletizado.....</i>	50
1.15.2	<i>Beneficios de la palatización.....</i>	51
1.15.3	<i>Aplicaciones del sistema de paletizado.....</i>	51
CAPÍTULO II		
2	MARCO METODOLÓGICO	52
2.1	Investigación.....	53
2.1.1	<i>Tipo de metodología.....</i>	53
2.1.2	<i>Niveles de investigación.....</i>	53
2.1.3	<i>Alcance de la investigación</i>	53
2.1.4	<i>Limitaciones.....</i>	54
2.1.5	<i>Modalidad de campo.....</i>	54
2.1.6	<i>Recolección de información</i>	54
2.2	Procesamiento y análisis de datos	54
2.2.1	<i>Plan empleado para procesar la información recogida</i>	54
2.2.2	<i>Plan de análisis e interpretación de resultados</i>	55
2.3	Problemática y selección de sistema SCADA	55
2.3.1	<i>Diagnostico para el diseño de un sistema SCADA.....</i>	55
2.4	Análisis del estado técnico del equipo por etapas	56
2.4.1	<i>Estado de la etapa de mezclado</i>	57
2.4.2	<i>Estado de la etapa de dosificado.....</i>	59
2.4.3	<i>Estado de la etapa de transporte.....</i>	61
2.4.4	<i>Estado de la etapa de tapado</i>	62
2.4.5	<i>Etapa de paletizado</i>	64
2.4.6	<i>Análisis general del estudio técnico</i>	65
2.5	Desarrollo del proyecto	66
2.6	Selección general del tipo de embotelladora.....	67

2.6.1	<i>Ventajas y características de la embotelladora</i>	67
2.6.2	<i>Alcance de la investigación PYMES</i>	68
2.7	Desarrollo del módulo didáctico	69
2.7.1	<i>Requerimientos del diseño mecánico</i>	69
2.8	Selección de componentes	70
2.9	Tableros eléctricos y dimensionamiento de cables	76
2.10	Descripción de etapas del proceso de embotellado	77
2.10.1	<i>Etapas de mezclado</i>	78
2.10.2	<i>Etapas de dosificado</i>	80
2.10.3	<i>Etapas de transporte</i>	82
2.10.4	<i>Etapas de tapado</i>	83
2.10.5	<i>Etapas de paletizado</i>	85
2.11	Dispositivos de campo del sistema de embotellado	87
2.12	PLC TM221CE16T	87
2.12.1	<i>Partes del PLC TM221CE16T</i>	87
2.12.2	<i>Conexión de entradas y salidas</i>	89
2.13	PLC TM221CE24T	90
2.13.1	<i>Partes del PLC TM221CE24T</i>	90
2.13.2	<i>Conexión de entradas y salidas</i>	91
2.14	Indicadores Led de estado de los PLCs	92
2.15	Diseño HMI – SCADA	93
2.15.1	<i>SoMachine Basic</i>	94
2.15.1.1	<i>Selección del PLC</i>	94
2.15.1.2	<i>Introducción a programación en SoMachine Basic</i>	94
2.15.1.3	<i>Programación Ladder entorno SoMachine Basic</i>	95
2.15.1.4	<i>Simulación de operación</i>	95
2.15.1.5	<i>Direccionamiento de comunicación</i>	96
2.15.2	<i>Diseño de HMI-Lookout</i>	97
2.15.2.1	<i>Diseño de pantalla</i>	98

2.15.2.2	<i>Interfaz gráfica</i>	99
2.15.3	<i>Variables del proceso</i>	100
2.16	Diseño de la red LAN	100
2.16.1	<i>Direccionamiento</i>	101
2.16.2	<i>Comunicación entre PLC M221</i>	102
2.17	Inventario general de materiales y complementos actuales por etapas	103
2.17.1	<i>Etapa de mezclado actual</i>	103
2.17.2	<i>Etapa de dosificado final</i>	104
2.17.3	<i>Etapa de transporte actual</i>	105
2.17.4	<i>Etapa de tapado actual</i>	106
2.17.5	<i>Etapa de paletizado final</i>	107
CAPÍTULO III		
3	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	108
3.1	Prueba de campo al sistema	108
3.2	Pruebas de campo por etapas	113
3.2.1	<i>Tamaño de la muestra</i>	113
3.2.2	<i>Pruebas Totales</i>	114
3.2.3	<i>Cálculo de errores y perdidas</i>	116
3.2.4	<i>Pruebas del proceso de embotellado de líquidos</i>	118
3.3	Análisis de costos	119
CONCLUSIONES		121
RECOMENDACIONES		122
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 1:	Principales marcas de PLC y software de programación.	33
Tabla 2- 1:	Dosificadores de sustancias.....	44
Tabla 3- 2:	Matriz de porcentajes estado técnico.....	57
Tabla 4- 2:	Estado de los materiales etapa de mezclado.....	58
Tabla 5- 2:	Suma de los estados etapa mezclado.....	59
Tabla 6- 2:	Estado de materiales de la etapa de dosificado.....	60
Tabla 7- 2:	Suma de los estados etapa de dosificado.....	60
Tabla 8- 2:	Estado de materiales de la etapa de transporte.....	61
Tabla 9- 2:	Suma de los estados etapa de transporte.....	62
Tabla 10- 2:	Estado de los materiales etapa de paletizado.....	64
Tabla 11- 2:	Suma de los estados etapa de paletizado.....	65
Tabla 12- 2:	Análisis general del estado técnico de los materiales.....	65
Tabla 13- 2:	Requerimiento de componentes.....	69
Tabla 14- 2:	Memorias, entradas y salidas etapa de mezclado.....	79
Tabla 15- 2:	Memorias, entradas y salidas etapa de dosificado.....	81
Tabla 16- 2:	Memoria, entradas y salidas etapa de transporte.....	82
Tabla 17- 2:	Memorias, entradas y salidas etapa de tapado.....	83
Tabla 18- 2:	Memorias, entradas y salidas etapa de paletizado.....	85
Tabla 19- 2:	Requerimientos del sistema de embotellado.....	87
Tabla 20- 2:	Descripción de componentes del PLC.....	89
Tabla 21- 2:	Descripción de indicadores Led de estado.....	93
Tabla 22- 2:	Objetos básico de programación.....	95
Tabla 23- 2:	Funcionalidades del HMI.....	98
Tabla 24- 2:	Variables del proceso.....	100
Tabla 25- 2:	Direccionamiento de dispositivos.....	102
Tabla 26- 2:	Materiales etapa de mezclado actual.....	103
Tabla 27- 2:	Materiales etapa de dosificado actual.....	104
Tabla 28- 2:	Materiales etapa de transporte actual.....	105
Tabla 29- 2:	Materiales etapa de tapado actual.....	106
Tabla 30- 2:	Materiales etapa de paletizado actual.....	107
Tabla 31- 3:	Tiempos de cada etapa en segundos.....	114
Tabla 32- 3:	Prueba t student para única muestra.....	114
Tabla 33- 3:	Pruebas totales para un numero de botellas de 20.....	115

Tabla 34- 3:	Báscula Digital.	117
Tabla 35- 3:	t student para única muestra.	117
Tabla 36- 3:	Capacidad de cada envase.	117
Tabla 37- 3:	Porcentaje de pérdida.	118
Tabla 38- 3:	Pruebas del proceso de embotellado de líquidos.	119
Tabla 39- 3:	Características del sistema automático rotativo.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1:	Historia de los PLCs.	8
Figura 2- 1:	Estructura general de un PLC.	9
Figura 3- 1:	Organización modular de un PLC.....	10
Figura 4- 1:	PLCs tipo compacto.	12
Figura 5- 1:	PLCs tipo modular.	12
Figura 6- 1:	PLCs tipo montaje en rack.	13
Figura 7- 1:	OPLC.	13
Figura 8- 1:	Configuración Maestro-Esclavo..	14
Figura 9- 1:	Ciclo de operación del PLC.	16
Figura 10- 1:	Tiempo de reacción de un PLC.	16
Figura 11- 1:	Pirámide CIM de comunicación.	18
Figura 12- 1:	Distribución de redes de comunicación industrial.	19
Figura 13- 1:	Cableado de bus de campo.....	20
Figura 14- 1:	Niveles OSI y sus procesos de comunicación.....	22
Figura 15- 1:	Tabla de comparativa entre buses de campo.....	23
Figura 16- 1:	Metodologías de programación de PLC.....	25
Figura 17- 1:	Tipos de datos según norma IEC 1131-3.	26
Figura 18- 1:	Instrucciones del lenguaje de lista de instrucciones norma IEC 1131-3.....	27
Figura 19- 1:	Simbólica de diagrama de contactos.	28
Figura 20- 1:	Operaciones de memorización del lenguaje de contactos.....	29
Figura 21- 1:	Bloques de funciones norma IEC 1131-3.	29
Figura 22- 1:	Diagrama Ladder y estructura de conexión de un PLC.	30
Figura 23- 1:	Elementos de un Grafcet.....	31
Figura 24- 1:	Repetición secuencia Grafcet.....	32
Figura 25- 1:	Secuencias simultaneas y sincronizadas.	32
Figura 26- 1:	Paquetes HMI/SCADA comerciales.	37
Figura 27- 1:	Esquema de un sistema SCADA.....	38
Figura 28- 1:	Comunicación y hardware SCADA.....	41
Figura 29- 1:	Esquema de tanque para mezcla de líquidos.....	43
Figura 30- 1:	Tipos de impulsores.	43
Figura 31- 1:	Dosificador volumétrico tipo tornillo giratorio.....	45
Figura 32- 1:	Dosificador gravimétrico de pérdida de peso.....	45
Figura 33- 1:	Sistema de dosificado con bomba.	46
Figura 34- 1:	Dosificador de tubo calibrado para regular carga.	46

Figura 35- 1:	Partes de una banda transportadora.....	48
Figura 36- 1:	Máquina de tapado.....	50
Figura 37- 1:	Sistema de paletizado de botellas por brazo robótico.	51
Figura 38- 2:	Diagrama de flujo del proceso.	52
Figura 39- 2:	Problemática de procesos de embotellado ineficientes.	55
Figura 40- 2:	Estado de la estructura	57
Figura 41- 2:	Estado de la etapa de dosificado.	59
Figura 42- 2:	Etapa de transporte.....	61
Figura 43- 2:	Etapa de paletizado.	64
Figura 44- 2:	Diagrama de flujo de desarrollo del proyecto.	66
Figura 45- 2:	Comunicación del proceso de embotellado de líquidos.....	70
Figura 46- 2:	(a) PLCs Schneider TM221CE16T y (b) TM221CE24T.....	70
Figura 47- 2:	Fuente de alimentación para PLC.	71
Figura 48- 2:	Canaleta ranurada y riel DIN.	71
Figura 49- 2:	Válvula solenoide neumática 4V210-08.	72
Figura 50- 2:	Sensor de proximidad fotoeléctrico.	72
Figura 51- 2:	Bomba para proceso de mezclado de líquidos.	73
Figura 52- 2:	Pistón neumático.	73
Figura 53- 2:	Motor trifásico Siemens 0.5 HP.....	74
Figura 54- 2:	Variador de frecuencia Lenze SMD.....	74
Figura 55- 2:	PID digital programable.....	75
Figura 56- 2:	Sensor de nivel de líquidos.	75
Figura 57- 2:	Panel eléctrico de control.....	76
Figura 58- 2:	Dimensionamiento de cables.	77
Figura 59- 2:	Etapas del proceso de embotellado.	78
Figura 60- 2:	Etapa de mezclado de líquidos.....	79
Figura 61- 2:	Grafcet etapa de mezclado.	80
Figura 62- 2:	Etapa de dosificado de líquido.	81
Figura 63- 2:	Grafcet etapa de dosificado.....	81
Figura 64- 2:	Etapa de transporte.....	82
Figura 65- 2:	Grafcet etapa de transporte	83
Figura 66- 2:	Etapa de tapado.	84
Figura 67- 2:	Grafcet etapa de tapado.....	84
Figura 68- 2:	Etapa de paletizado.	86
Figura 69- 2:	Grafcet de etapa de paletizado	86
Figura 70- 2:	Componentes del PLC TM221CE16T.....	88
Figura 71- 2:	Diagrama de cableado de entradas de TM221CE16T.....	89

Figura 72- 2:	Diagrama de cableado de salidas de TM221CE16T	90
Figura 73- 2:	Componentes del PLC TM221CE24T.....	91
Figura 74- 2:	Diagrama de cableado de salidas de TM221CE24T.....	91
Figura 75- 2:	Diagrama de conexión de salidas de TM221CE24T.....	91
Figura 76- 2:	Indicadores de estado de TM221CE16T.....	92
Figura 77- 2:	Leds de estado del PLC.....	92
Figura 78- 2:	Selección de PLC SoMachine Basic.....	94
Figura 79- 2:	Ejemplo de programación LD en SoMachine Basic.....	95
Figura 80- 2:	Entorno de simulación SoMachine Basic.....	96
Figura 81- 2:	Configuración de Ethernet en SoMachine Basic.....	96
Figura 82- 2:	Cargar o descargar programa en SoMachine Basic.....	97
Figura 83- 2:	Directrices para el diseño de la interfaz.....	98
Figura 84- 2:	Interfaz de etapa de mezclado.....	99
Figura 85- 2:	Interfaz de etapa 2,3,4 y5.....	100
Figura 86- 2:	Red de comunicación del proceso.....	101
Figura 87- 2:	Configuración SoMachine comunicación entre PLCs.....	102
Figura 88- 2:	Etapa de mezclado actual.....	103
Figura 89- 2:	Etapa de tapado final.....	106
Figura 90- 3:	Arranque de los procesos.....	108
Figura 91- 3:	Modbus Protocol Statistics.....	108
Figura 92- 3:	Test de funcionamiento etapa de mezclado.....	109
Figura 93- 3:	Etapa de mezclado.....	109
Figura 94- 3:	Etapa de mezclado comprobación de funcionamiento.....	110
Figura 95- 3:	Etapa de dosificado, comprobación de funcionamiento.....	110
Figura 96- 3:	Etapa de dosificado, comprobación de dispositivos.....	111
Figura 97- 3:	Etapa de tapado.....	111
Figura 98- 3:	Etapa de tapado comprobación de dispositivos.....	112
Figura 99- 3:	Etapa de palatización comprobación de funcionamiento.....	112
Figura 100- 3:	Sistema de embotellado.....	113
Figura 101- 3:	Prueba 1 vs Prueba 2.....	116
Figura 102- 3:	Sistema automático rotativo para llenado de líquidos de baja densidad.....	119

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Esquema eléctrico de conexión inversión de giro de motor.

ANEXO B: Diagrama Ladder de las etapas de embotellado de líquidos.

ANEXO C: Tabla de valores criticos de la distribucion t de Student.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

HMI	Interfaz hombre maquina
SCADA	Supervisión, control y adquisición de datos
PLC	Controlador lógico programable
MAP	Protocolo de automatización de manufactura
RAM	Memoria de acceso aleatorio
PIO	Salida de la imagen del proceso
SM	Módulo de señal
DI/DO	Entrada digital/Salida digital
AI/AO	Entrada analógica/Salida analógica
GATEWAY	Puerta de enlace
IM	Módulo de interfaz
FM	Modulo funcional
CP	Procesador de la comunicación
PID	Controlador proporcional, integral y derivativo
LCD	Pantalla de cristal liquido
PS	Módulo de suministro de energía
OPLC	Controlador lógico programable con panel operador
MTU	Unidad terminal maestra
CIM	Fabricación integrada por operador
E/S - I/O	Entrada/Salida
MAC	Control de acceso al medio
LLC	Control de enlace lógico
TCP/IP	Protocolo de internet/Protocolo de control de transmisión
RTU	Unidad terminal remota
ASCII	Estándar de código americano para intercambio de información
LD	Lenguaje de contactos
FBD	Lenguaje de diagrama de funciones
IL	Lista de instrucciones
SFC	Diagrama de funciones secuenciales
ST	Texto estructurado
PYMES	Pequeñas y medianas empresas

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo implementar un sistema automatizado con interfaz hombre máquina - supervisión, control y adquisición de datos (HMI-SCADA) para el proceso de embotellado de líquidos, siendo un módulo fácil de operar de bajo costo. Para lo cual se emplearon cinco controladores lógicos programables (PLC) marca Schneider modelo TM221CE16T y TM221CE24T, estos reciben y procesan información de los diferentes actuadores y sensores, cada proceso se lo realizó individualmente para así tener un control total de cada estación como SCADA, consta de programación, entradas, salidas y memorias como también graficet, ladder y direccionamiento de cada PLC. Los diferentes sensores láser, magnéticos y capacitivos se utilizaron para la detección de botellas, posición del estado de cilindros y nivel de líquido. Los actuadores, están compuestos por cilindros de doble efecto, electroválvulas y bombas de agua para el mezclado y dosificado del proceso junto con un motor trifásico para el transporte de botellas. El proceso comprende de cinco estaciones automatizadas, empezando por la etapa de mezclado, etapa de dosificado, etapa de transporte, etapa de tapado y por último la etapa de paletizado, estas trabajan de manera coordinada, el proceso se repite las veces que sea requerido. Las pruebas realizadas a este proceso fueron de funcionalidad, para lo cual se programó un HMI en LOOKOUT con indicadores de cada estación de trabajo. En conclusión, se implementó un proceso de embotellado funcional de bajo costo con beneficios de operación mediante indicadores lo que hace muy didáctico y fácil de operar. Se recomienda seguir la secuencia de diagrama de flujo ante posibles errores.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS>, <AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL>, <EMBOTELLADO DE LÍQUIDOS>, <EMBOTELLADORA AUTOMÁTICA>, <INTERFACE HOMBRE MAQUINA (HMI)>, <CONTROLADOR PROGRAMABLE (PLC)>.



ABSTRACT

The objective of this degree work was to implement an automated system with human-machine surveillance interface, control and data acquisition (HMI-SCADA) for the liquid bottling process, resulting this an easy module to operate at low cost. Five programmable logic controllers (PLC) Schneider model TM221CE16T and TM221CE24T were used, these receive and process information from the different actuators and sensors. Each process was performed individually to thus have total control of each station as SCADA, it involves programming, inputs, outputs and memories as well as Grafcet, ladder and addressing of each PLC. The different laser, magnetic and capacitive sensors were used for the detection of bottles, position of the state of cylinders and liquid level. The actuators are composed of double-acting cylinders, solenoid valves and water pumps for mixing and dosing the process together with a three-phase motor for transporting bottles. The process comprises five automated stations, starting with the mixing, dosing, transport, capping and finally the palletizing stage, all these work in a coordinated manner and the process can be repeated as many times as required. The tests performed on this process were functional, for which an HMI was programmed in LOOKOUT with indicators of each workstation. In conclusion, a low-cost functional bottling process was implemented with operating benefits through indicators which makes it very didactic and easy to operate. It is recommended to follow the flowchart sequence in case of possible errors.

KEYWORDS: Automatic Control Technology, Process Automation, Industrial Automation, Liquid Bottling, Automatic Bottling Machine, Human Machine Interface (HMI), Programmable Logic Controller (PLC).



INTRODUCCIÓN

En el campo de la tecnología y la industria la manufactura de productos avanza rápidamente, impulsando el crecimiento económico. Los sistemas de control implementados para tal actividad deben mejorar factores como disminución de coste de fabricación, aumento de ingresos y tiempos de fabricación de productos, pero aún muchos de los procesos se realizan manualmente. (Kalpakjian & Schmid, 2002)

El presente trabajo muestra un sistema de control para el llenado, mezclado y embotellado de productos líquidos. En concreto se trata de automatizar un módulo para embotellado de líquidos. El objetivo es mostrar cómo el proceso de control puede mejorar las operaciones y la rentabilidad de una planta, además, se deben considerar otros objetivos como el impacto final en la producción. (Dorf, Bishop, Canto, Canto, & Dormido, 2005)

El proceso de control se divide en dos partes: la mezcla de líquidos y el embotellado, en el proceso mezclado requiere un control absoluto sobre ciertas variables críticas: control del nivel de llenado del depósito, el control de temperatura de líquidos, el control de mezcla, banda transportadora y paletizado.

La implementación del sistema de control tendrá dos aspectos fundamentales: el hardware y el software utilizado. Se busca un sistema abierto, de uso general mediante programación para cumplir los requisitos necesarios para los procesos de llenado y mezclado con la fiabilidad exigida en el campo industrial.

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de dicha investigación tiene como fin implementar un sistema automatizado con control HMI-SCADA utilizando tecnologías autónomas y digitales, el sistema se conforma desde la supervisión mediante control HMI, el control total de la planta para el proceso de embotellado de líquidos desde la etapa de mezclado, llenado y tapado, paletizado así también como la adquisición de datos para almacenar y mostrar la información de los equipos utilizados en el proceso.

Los resultados obtenidos en la investigación se reflejarán en un módulo con dispositivos PLC SCHNEIDER, los cuales tendrán la capacidad de comunicar y controlar los procesos de embotellamiento de líquidos, adquisición y transferencia de datos, simulación de funcionamiento en base a la industria por medio de gráficas y simulaciones en pantalla digital (HMI), el funcionamiento del sistema scada seguirá la misma secuencia de sistematización.

Implementar un SCADA permitirá controlar y generar registros históricos para las partes críticas del proceso de embotellado de líquidos, el SCADA consta de información de los sensores utilizados, también se visualizará la producción por cantidad de tanque y por carga total del producto, existen indicadores para las señales discretas otorgadas por los equipos instalados, dichas señales serian contactos auxiliares y sensores.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

IMPLEMENTAR UN SISTEMA AUTOMATIZADO CON CONTROL HMI-SCADA PARA EL PROCESO DE EMBOTELLADO DE LIQUIDO.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el sistema de embotellado de líquidos para conocer la situación actual del proceso.
- Analizar los requerimientos para diseñar un sistema de embotellado de líquidos con hmi-scada.
- Implementar un sistema automatizado con control hmi-scada para el proceso de embotellado de líquidos.
- Elaborar pruebas que permitan verificar el correcto funcionamiento del sistema.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Automatización industrial

La necesidad de mejorar los procesos industriales ocasiono su automatización con una prioridad de las empresas de fabricación, la revolución industrial contribuyó de forma general al paso de la industria artesanal a la producción en serie con ayuda de máquinas y herramientas avanzadas, influenciando en gran medida al crecimiento económico y avances científicos, la demanda por parte de clientes hizo a los fabricantes intentar satisfacer con nuevos productos con mejores especificaciones técnicas y de mayor calidad, la presencia de un mercado competitivo llevo a las industrias a mejorar la tecnología de sus procesos de producción.(Alfaomega, Edición, México, & 2001, p.17.)

Se define automatización como un conjunto de procesos y métodos para substituir a un operario en tareas mentales y físicas, los procesos industriales están ligados con conceptos de productos, programas y planificación de plantas.

Existen 2 tipos de industria ligadas a la automatización: industria de manufactura e industria de procesos, la industria de manufactura se fundamenta en la presencia de máquinas de control numérico por computador como el centro de su sistema de fabricación, en cuanto a la industria de procesos, es de naturaleza continua, destacando aplicaciones de algoritmos para control avanzado, uso de autómatas programables para tareas repetitivas. (Ponsa, de, & 2009, n.d.)

1.1.1 Ventajas y beneficios

1.1.1.1 Costo óptimo de operación

La integración de maquinarias automatizadas minimiza los tiempos de producción, por lo tanto, reduce la presencia humana, ocasionando menor inversión en personal.

1.1.1.2 Alta producción

Las automatizaciones de procesos industriales mejoran las tasas de producción, ayudan a la producción en masa, reducción de tiempos de ensamblaje y permite a las industrias un trabajo continuo.

1.1.1.3 Productos de alta calidad

La reducción de mano de obra y errores humanos logra mantener homogeneidad y calidad en productos, por medio del control y monitoreo de procesos de todas las etapas de la automatización. (GARCIA, la, & 2007, p.167)

1.1.1.4 Mayor seguridad para el personal

Toda automatización requiere de personal capacitado, para el caso aumenta el nivel de seguridad en trabajos peligrosos, subtitulándolos por robots y dispositivos automáticos.

1.1.1.5 Alta flexibilidad

Agregar una nueva tarea en un proceso industrial, requiere la capacitación necesaria en los operarios involucrados, en cambio, las máquinas y robots pueden ser programados para realizar cualquier tarea, lo cual conlleva a una mayor flexibilidad en el proceso de producción.

1.1.1.6 Información precisa

La recolección automática de información de los procesos de producción, incrementando la precisión de los datos y minimiza los costos de adquisición. Esto contribuye a una mejor toma de decisiones a la hora de mejorar los procesos industriales.(Exsol, 2017)

1.1.1.7 Reducción de controles de rutina

La automatización minimiza la necesidad de comprobar parámetros del proceso, dichos parámetros se ajustan automáticamente a los valores fijados o deseados, usando técnicas de control.(Lledó, 2009, p.19.)

1.1.2 Jerarquía de un sistema de automatización

La complejidad de los sistemas de automatización industrial genera una disposición a diferentes niveles.

1.1.2.1 Nivel de campo

Presenta dispositivos como sensores y actuadores, su principal tarea es transferir la información de los procesos y máquinas al posterior nivel, para su análisis. También incluye el control de parámetros de proceso por medio de actuadores.

1.1.2.2 Nivel de control

Se adquiere datos del nivel previo, para ejecutar algoritmos de control, teniendo en cuenta los resultados, enviar órdenes a los actuadores, dicho nivel se encarga de la comunicación entre los diferentes controladores entre los niveles.

1.1.2.3 Nivel de supervisión y control de producción

En este nivel, los dispositivos automáticos y sistemas de monitoreo proveen las funciones de control como: supervisión de parámetros, registro histórico, activación y paro, entre otras.

1.1.2.4 Nivel de información o empresarial

En este nivel se coordinan los diferentes procesos, los cuales contribuyen a la producción, las tareas incluyen la planificación de la producción, análisis de clientes y mercados, compras y ventas.

1.1.2.5 Redes de comunicación industrial

Por otro lado, en dicho nivel se realiza la administración de recursos, responsable de la gestión de la planta, como principales actividades están el control y planificación de producción. (Pérez, Acevedo, & Silva, 2009, p.689)

1.1.3 Tipos de sistemas de automatización de procesos industriales

1.1.3.1 Automatización fija

Se emplea en operaciones fijas y repetitivas, con el fin de alcanzar altas tasas de producción, consiste en la fabricación continua de un mismo producto en grandes cantidades.

1.1.1.1 Automatización programable

Fabricación de pocos productos en pequeñas cantidades a bajos costos, adecuada para el proceso de producción por lotes.

1.1.1.2 Automatización flexible

Se basa en la flexibilidad proporciona el equipo de control automático para realizar cambios en el diseño del producto, permite producir varios productos por medio de un proceso combinado.(Lledó, 2009, p.31.)

1.1.4 Ventajas en el campo industrial

- Reducción de mano de obra, al introducir maquinaria o procesos automáticos se optimizan las tareas implícitas en dichos procesos.
- Aumento de producción, en cualquier proceso automatizado se incrementa el nivel de producción por medio de la reducción de actividades por mano de obra humana.
- Reducción de mantenimiento, en todo proceso automatizado con mantenimiento preventivo, se reducirán los problemas técnicos en equipos.
- Garantía de calidad, la calidad presente en todo proceso automático mejorará, y minimizará posibles errores de mano de obra. (Álvarez, 2007, p.4)

1.2 PLC

Un controlador lógico programable es un dispositivo inventado para reemplazar los circuitos secuenciales por relés usados en el control de máquinas, dicho dispositivo trabaja revisando sus entradas, dependiendo de su estado, manipula sus salidas, se debe ingresar un programa por medio de software, el cual determinara los resultados operativos deseados.(Pérez et al., 2009, p.3)

Los PLC se utilizan para varias aplicaciones como tareas cotidianas hasta control de procesos industriales, dependiendo a la situación su uso produce ahorro en tiempo de procesos y evita situaciones de riesgo en tareas alienantes. (Cortés, 2001, p.3)

1.2.1 Historia de los PLC

Los PLC's se introdujeron en la industria en 1960 aproximadamente, debido a la necesidad de eliminar el gran costo producido al reemplazar los sistemas de control basado en relés y contactores. Bedford Associates propuso algo denominado Controlador Digital Modular (MODICON, Modular Digital Controller).

El MODICON 084 fue primer PLC del mundo en ser producido comercialmente, cuando se cambiaban los requerimientos de producción también lo hacían los del sistema de control, ocasionando problemas en los sistemas basados en relés, resultado bastante caro al realizar cambios frecuentes de requerimientos, al ser los relés dispositivos mecánicos, poseían una vida útil limitada y los sistemas requerían manutención constante, ocasionalmente se debían realizar conexiones entre cientos o miles de relés, implicando un enorme esfuerzo de diseño y mantenimiento, los nuevos controladores debían ser fácilmente programables, el tiempo de vida debía ser largo y los cambios en el programa debían realizarse de forma sencilla. (Horacio D, 2005, p.2)

A mediados de los 70 las tecnologías dominantes de los PLC eran máquinas de estados secuenciales y CPU basadas en desplazamiento de bit, los microprocesadores concedieron la potencia necesaria para resolver de forma rápida y completa, la lógica de los PLCs.

Por cada modelo de microprocesador había un modelo de PLC, las habilidades de comunicación comenzaron a aparecer en 1973, el primer sistema fue el bus Modicon (Modbus), los PLCs podían dialogar con otros PLCs y en conjunto podían estar aislados de las máquinas controladas, también enviaban y recibían señales de tensión variables, entrando en el mundo analógico.

En los 80 se produjo un intento de estandarización de las comunicaciones con el protocolo MAP (Manufacturing Automation Protocol) de General Motor's, también se redujeron las dimensiones del PLC y su programación se realizó con programación simbólica a través de computadores personales.

Hoy día el PLC más pequeño es del tamaño de un simple relé, en los años 90 se mostró una gradual reducción en el número de nuevos protocolos. (Horacio D, 2005, p.3)

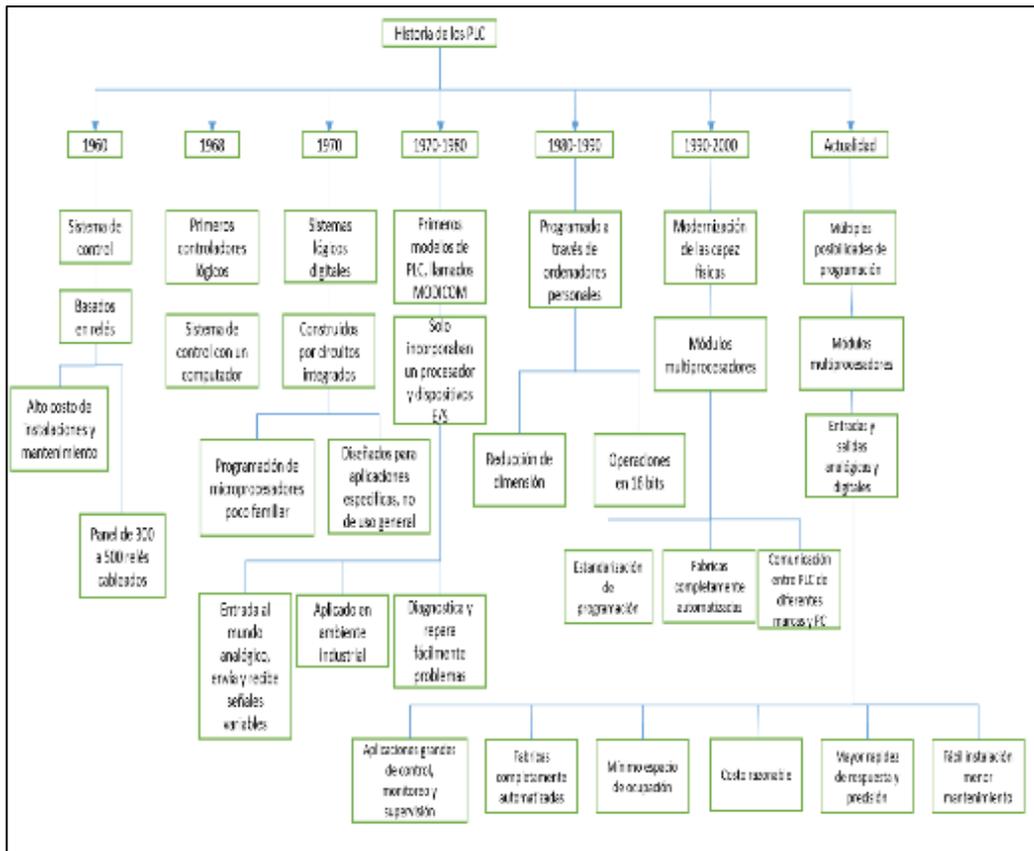


Figura 1- 1: Historia de los PLCs.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

Realizado por: Chiluisa, 2019

1.2.2 Estructura general de los PLC

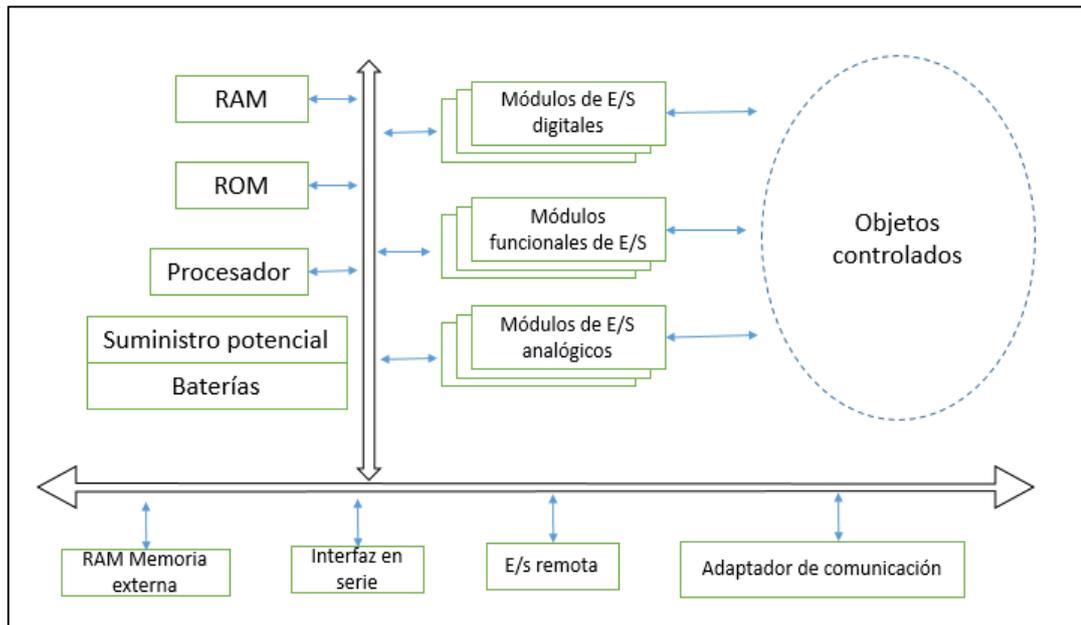


Figura 2- 1: Estructura general de un PLC.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

Realizado por: Chiluisa, 2019

Como se observa en el gráfico 1-2, para el funcionamiento del sistema es necesario la presencia de una fuente de energía cuyo propósito es garantizar los voltajes de operación del controlador, frecuentemente se utilizan valores de: $\pm 5V$, $\pm 12V$ y $\pm 24V$. La parte principal de un PLC se denomina unidad central de procesamiento o CPU, contiene el procesamiento del controlador y está basada en un microprocesador.

La transferencia de datos y/o direcciones en los PLCs se da mediante cuatro tipos de buses diferentes:

- bus de datos, para la transferencia de datos de los componentes individuales.
- bus de direcciones, para aquellas transferencias entre celdas donde se habían guardado datos.
- bus de control, para las señales de control de los componentes internos.
- bus de sistema, para conectar los puertos con los módulos de E/S.

El lugar donde se guardan los datos y las instrucciones es la memoria esta se divide en memoria permanente, PM, y memoria operacional, conocida como memoria de acceso aleatorio o RAM (Aguilera Martínez, 2002, p.20)

La salida controlada es calculada por las funciones lógicas, se guardan en la parte de la RAM denominada tabla PIO, finalmente, los módulos de E/S, son aquellos módulos de señal (SM) estos coordinan la entrada y salida de las señales. (Pérez, Acevedo, & Silva, 2009, p.75)

Las señales presentes en los PLCs pueden ser digitales (DI, DO) y analógicas (AI, AO), y provienen o van a dispositivos como sensores, interruptores, actuadores, etc. Los SMs analógicos utilizan en general un voltaje en DC y una corriente directa. De este modo, opto acopladores, transistores y relés son empleados en la salida digital del SMs para cambiar los estados de la señal de salida con el fin de proteger a estos dispositivos de situaciones como un cortocircuito, una sobrecarga o un voltaje excesivo. (Martínez, 2003, p.552)

El número de entradas y/o salidas de los SMs digitales es también bastante más elevado a comparación de los analógicos, siendo los primeros más de 8,16 o 32, mientras los segundos son, a lo sumo 8. (Maloney, 2006,p.76)

1.2.3 Componentes del hardware de un PLC

Un PLC puede tener un casete de una vía, estos están presentes en distintos tipos de módulos, como puede observarse en la figura 3- 1:

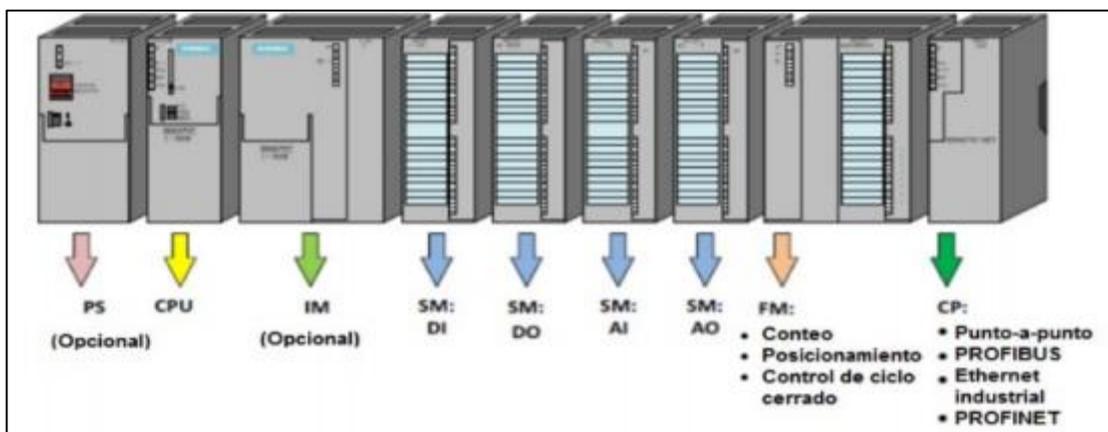


Figura 3- 1: Organización modular de un PLC.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

Como se observa en la figura 3-1, el PLC posee los siguientes módulos:

- Módulo de interfaz (IM).
- Módulo funcional (FM).
- Regulador PID o control de la posición.
- Procesador de la comunicación (CP).
- Interfaz hombre-máquina (HMI).
- Entradas/salidas remotas.
- Módulos de señal de alta-velocidad.

Cada módulo posee su propia interfaz-HMI básica, dicha interface está compuesta de pequeños displays con cristal líquido (LCD) o diodos emisores de luz (LED), se utilizan para visualización de errores, estado de comunicación, batería, entradas/salidas, etc.

1.2.4 Tipos de PLC

Existe muchos tipos de PLCs, por su tipo de función, el número de entradas/salidas, memoria, aspecto, capacidad y otros, no es un objetivo dar a conocer todos los tipos de PLC, pero si dar a conocer los más populares y saber identificarlos, se los puede clasificar en varias categorías:

1.2.4.1 PLC compactos

Incorporan CPU, PS, módulos I/O en un solo modulo, suelen presentar un número fijo de entradas y salidas digitales, uno o dos canales de comunicación y HMI. Suelen tener una entrada para control de alta velocidad y una o dos entradas/salidas analógicas.(Solbes Monzó, 2013,p.142)



Figura 4- 1: PLCs tipo compacto.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

1.2.4.2 PLC modular

Es el PLC más robusto y versátil a diferencia de los PLC compactos, los componentes como la CPU, SM, CP y demás módulos se encuentran en paquetes separados en un riel, su comunicación se realiza a través de un sistema bus. Poseen un número limitado de sitios para módulos, pero en la mayoría de los PLC modulares se pueden ampliar, pueden utilizar un elevado número de entradas/salidas, soportar programas más grandes, guardar más datos y operar bajo el modo de multitarea. (Nuevo García,2018, p.20)



Figura 5- 1: PLCs tipo modular.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

1.2.4.3 PLC de tipo montaje en rack

Posee similares capacidades del PLC modular, pero con ciertas diferencias en el sitio donde los módulos del PLC son colocados, el rack o bus tiene ranuras para módulos y un sistema bus para intercambiar información entre módulos, dicho PLC permite rápido intercambio de datos entre módulos y el tiempo de reacción de módulos es menor. (Calza, 2005,p.89)

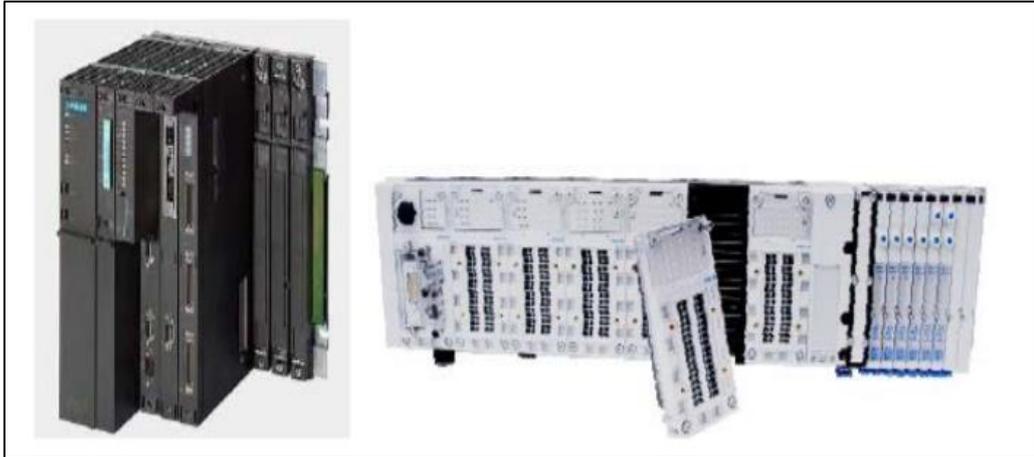


Figura 6- 1: PLCs tipo montaje en rack.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

1.2.4.4 PLC con panel Operador y Controlador Lógico Programable (OPLC)

Utilizan una HMI para funcionar y monitorizar procesos y máquinas, la HMI básicamente es un monitor y teclado o pantalla táctil, el monitor puede ser bien de tipo texto o gráfico, la programación del PLC y el HMI no se realiza de forma separada, toda la programación del dispositivo se realiza desde un mismo software dependiendo al fabricante. (Unitronics, 2018)



Figura 7- 1: OPLC.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

1.2.5 PLC de arquitectura maestro-esclavo.

Al organizar redes de comunicación, generalmente se establece una jerarquía entre los equipos, donde uno de ellos tiene control de las comunicaciones, esto se conoce como relación Maestro-Eslavo, Este sistema de comunicación maestro-esclavo consta esencialmente de un equipo y se lo denomina maestro y uno o varios equipos denominados esclavos; en un entorno industrial el dispositivo maestro es un autómatas capaz de leer o escribir sobre los demás dispositivos esclavos en la red, los dispositivos esclavos reciben los mensajes del dispositivo maestro.. (Rodríguez Penin, 2007,p.272)

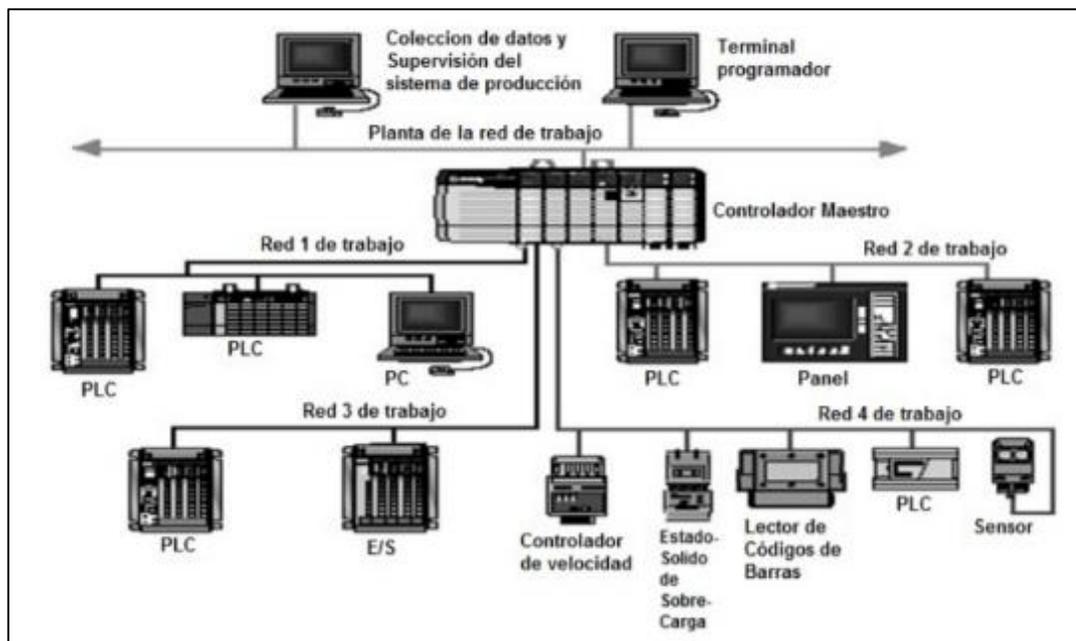


Figura 8- 1: Configuración Maestro-Eslavo.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

Como se observa en la figura 8- 1, el PLC posee una arquitectura para realizar múltiples procesos, basado en redes de PLCs, de tal modo, el dispositivo Maestro puede modificar los algoritmos, ajustes, estructura, etc. de los dispositivos esclavos, Un dispositivo maestro puede ser un PLC o un ordenador, disponiendo a un mayor acceso de los parámetros de configuración de cada dispositivo esclavo. (Olaya, & 2011,p.3.)

1.2.6 Tipos de señales utilizadas en los PLC

1.2.6.1 Señales binarias

Señal de un bit con dos valores posibles: 0 y 1, valor en bajo y en alto, verdadero y falso respectivamente, Los límites de tolerancia se definen con interruptores sin contacto, dichos valores varían dependiendo a normas utilizadas en los PLCs.(Calloni, 2015, p.29)

1.2.6.2 Señales digitales

Se trata de una secuencia de señales binarias, consideradas como una sola. Cada posición de la señal corresponde a un bit, las señales digitales presentan formatos como: tetrad – 4 bits, byte – 8 bits, word – 16 bits, double word – 32 bits, double long word – 64 bits. (Lifelong Learnig, 2011)

1.2.6.3 Señales analógicas

Señales con valor continuo, consiste en un número infinito de valores, los PLCs actualmente no pueden procesar señales analógicas reales, dichas señales deben ser convertidas en señales digitales y viceversa, la conversión se realiza por medio de SMs analógicos, las cuales contienen ADC. L señal real tiene una resolución muy elevada, por eso se trabaja con más bits en una señal digital, por ejemplo, en una señal de 0 v a 10 v se puede trabajar con resolución de 0.1 V o0.001 según el número de bits. (Calloni, 2015, p.81)

1.2.7 Principios de funcionamiento de los PLC

Un PLC trabaja de forma secuencial, siguiendo ciertas instrucciones definidas, las operaciones son cíclicas y secuenciales, dicho proceso se denomina ciclo Scan y a continuación se describe las operaciones básicas:

1. El usuario no percibe la primera etapa, es un trabajo interno de mantenimiento, se realiza rápidamente.
2. Se actualizan todas las entradas, se leen todas las señales de entrada, se convierten, se envían y se guardan en memoria. (Antúnez Soria, 2016, p.26)
3. Luego la unidad central de procesamiento ejecuta el programa cargado por el usuario, durante la ejecución el programa genera señales para las salidas.

- Se actualizan las salidas, según la señal se habilitan las salidas correspondientes para cada actuador, al final de cada ciclo el PLC comienza uno nuevo. (Solbes Monzó, 2013, p.140)

En la figura 9- 1 se muestra como es el ciclo Scan de un PLC.

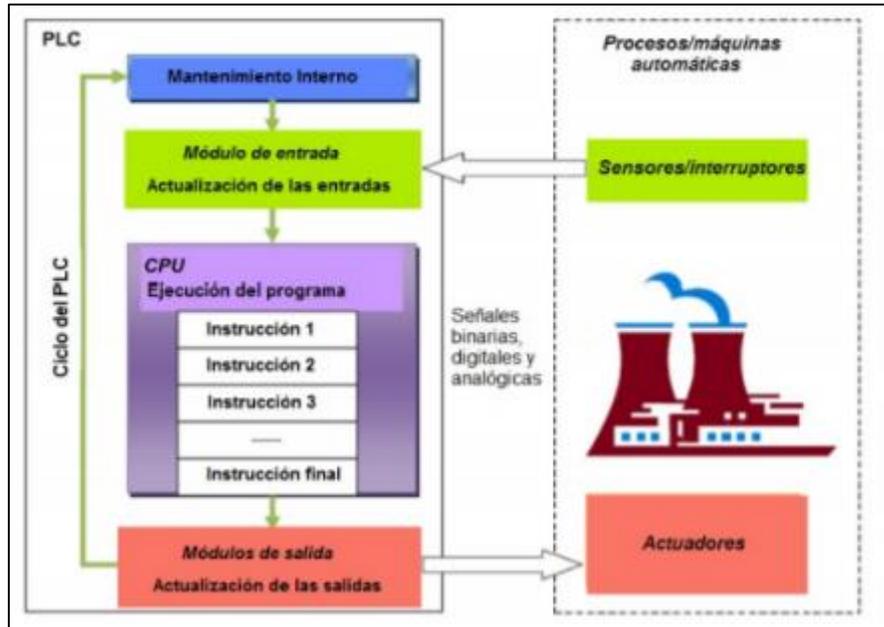


Figura 9- 1: Ciclo de operación del PLC.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

El tiempo de respuesta se define según el ciclo de operación del PLC, el tiempo de respuesta es el momento de ocurrencia de un evento desde la lectura, ejecución y salida de señal de control, como puede observarse en la siguiente figura1-8. (Pérez et al., 2009, p.901)

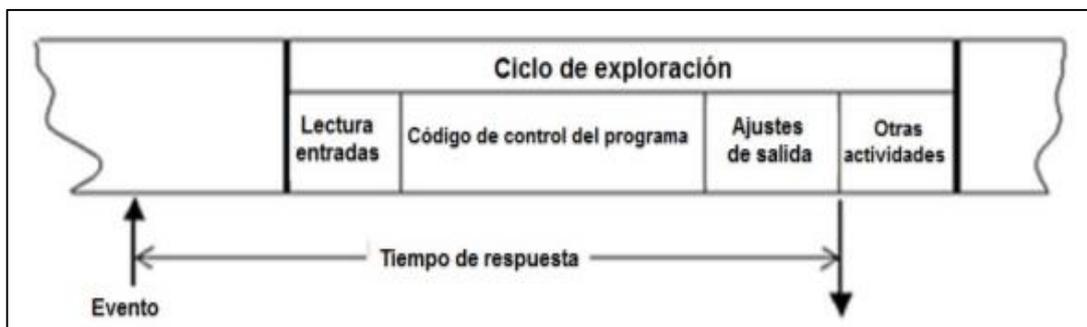


Figura 10- 1: Tiempo de reacción de un PLC.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

El tiempo de reacción de un PLC típico está por debajo de los 10 milisegundos, y en dispositivos más robustos incluso menos, la capacidad de respuesta es la característica más importante en los sistemas de comunicación. (Rodríguez, 2007, p.273)

1.3 Entradas salidas de un PLC

Entradas: Las entradas de un PLC pueden ser digitales o analógicas.

1.2.6 Digitales:

Generalmente las entradas de los PLCs son alimentadas con 24 VDC, dichas entradas al ser activadas generan señales internas tratadas por el programa como condiciones, cualquier mecanismo como botones, interruptores, sensores y demás aparatos de corte y apertura pueden activar una entrada digital. (Brumbach, 2010, p.624)

1.2.7 Analógicas:

Es complicado leer valores reales de una señal analógica, las entradas analógicas en un PLC son entradas especializadas para leer valores físicos, hay dos maneras: leer señales de corriente (4-20mA) o por tensión (0-10 V), mediante programación se trata las señales de lectura para escalar a un rango de valores aproximados al valor real. (Bolton, 2009, p.78)

1.3 Comunicaciones

1.3.6 La pirámide CIM

El ideal de factoría completamente automatizada (Computer Integrated Manufacturing) se representa como una pirámide y en los niveles bajos se encuentran los sensores y actuadores; en los niveles intermedios se interconectan estos elementos para funcionar cooperativamente realizando funciones más o menos sincronizadas y finalmente, en el nivel superior aparece la red informática técnico-administrativa donde se recogen informaciones de estado, registros históricos, datos de partida, consignas, etc. (Rodríguez Penin, 2007, p.293)

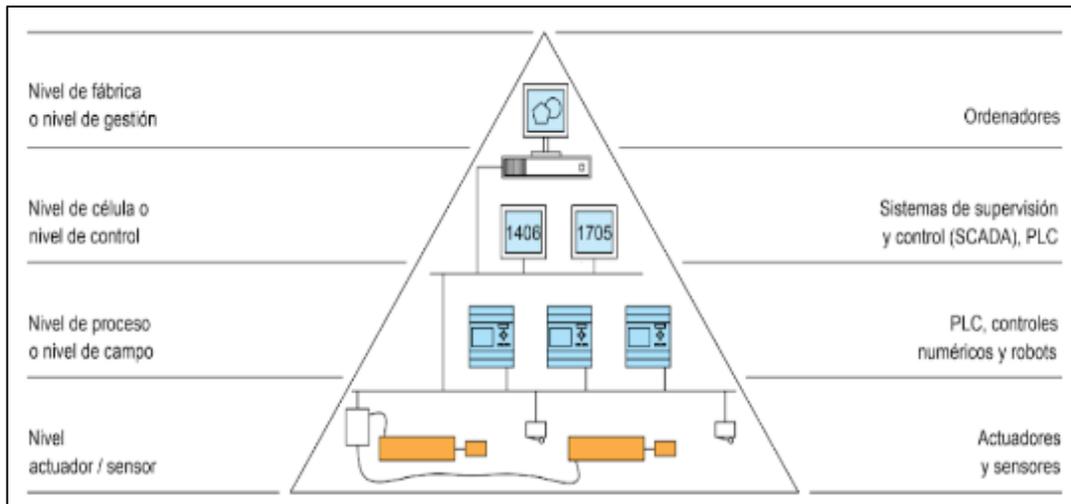


Figura 11- 1: Pirámide CIM de comunicación.

Fuente: (Romero Carrillo, 2018)

1.3.1.1 Nivel de E/S (Nivel actuador/sensor)

Es el nivel más bajo está constituido por elementos más cercanos al proceso, actuadores y sensores, no son programables, por tal razón dependen de un elemento de control para coordinar su trabajo. (Ake, 2004, p.277)

1.3.1.2 Nivel de Campo y Proceso

Nivel compuesto por elementos programables, con capacidad de control sobre dispositivos del anterior nivel, al estar relacionados es posible controlar líneas de fabricación sencillas empleando redes de comunicación denominadas buses de campo. (Romero Carrillo, 2018, p.159)

1.3.1.3 Nivel de Control (Nivel de célula)

Nivel donde se realizan la operación de control de máquinas y actividades, en dicho nivel se encuentra el sistema de control para gestionar tareas específicas, recursos y materiales. (Valdivia, 2019, p.7)

1.3.1.4 Nivel de gestión (Nivel de fábrica)

En industrias con procesos automatizados, es necesario acceder a la información relativa a los niveles en las líneas de producción, el nivel de gestión está constituido por ordenadores, conectados por una red de comunicación. (Romero Carrillo, 2018, p.159)

1.4 Redes de comunicación industrial

1.4.1 Modelo CIM

El modelo de CIM se divide en tareas de control a 5 niveles de funcionalidad, de acuerdo al tipo de información intercambiada, las redes de comunicación utilizadas por nivel requieren características relativas, dichas redes pueden ser de información y de campo, siendo las redes de información orientadas a transportar grandes cantidades de datos necesitando un gran ancho de banda, por tanto, representan los niveles más altos de jerarquía y las redes de campo las más bajas jerarquía, utilizadas para conectar procesos en tiempo real. (Valdivia, 2019, p.96)

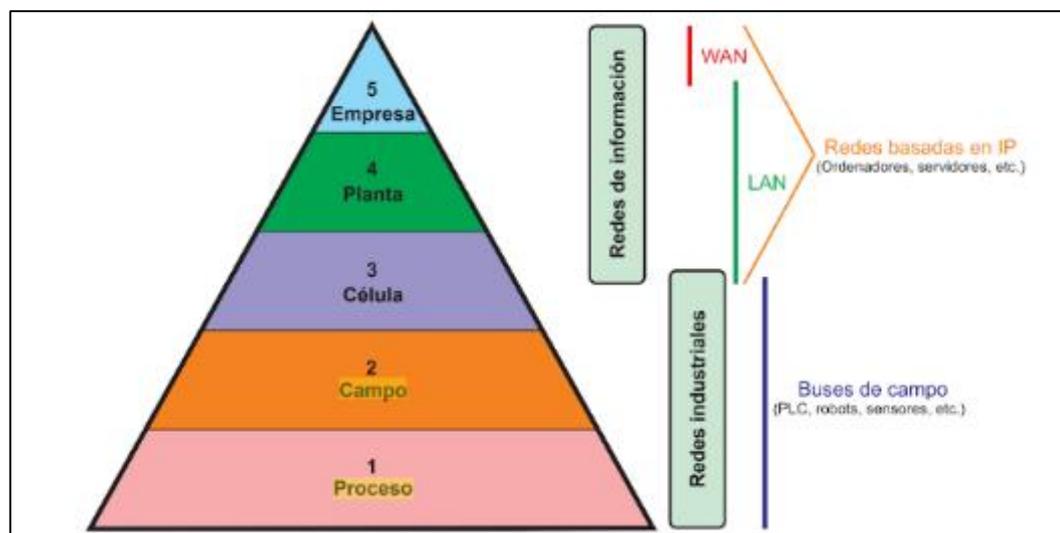


Figura 12- 1: Distribución de redes de comunicación industrial.

Fuente: (Valdivia, 2019)

1.4.1.1 Red de Factoría

Ejecutan herramientas informáticas para gestión de información de redes de oficinas, contabilidad y administración, almacén, ventas, etc. El volumen de la información intercambiada es muy alto, con tiempos de respuesta largos.

1.4.1.2 Red de Planta

Se pueden emplear para enlazar planificación y funciones de ingeniería, con procesos de control de producción y operaciones. (Valdivia, 2019, p.96)

1.4.1.3 Red de Célula

Permite la conexión entre dispositivos con funcionamiento secuencia, pueden gestionar mensajes, mecanismos de control, bajo costo de instalación, conexiones por nodo y alta fiabilidad en eventos anormales por pérdida de conexión. (Pardo Alonso, 2000)

1.4.1.4 Bus de Campo

Sistema para conectar distintos dispositivos presentes en un sistema de automatización, permitiendo intercambiar información digital entre ellos, (Romero Carrillo, 2018, p.161)

1.5 Buses de campo

Termino genérico referido a un sistema de comunicación, asociado a un grupo de redes de comunicación especializado de sistemas y equipos interconectados, su disposición a permitido la sustitución de redes punto a punto analógicas por redes bidireccionales digitales de transmisión, multipunto y demás. Un bus de campo actúa como soporte de comunicación de sensores y transporte de órdenes a acusadores, con dicho sistema se puede sustituir grandes redes de conductores por un simple cable bifilar o fibra óptica, común para todos los sensores y actuadores, dando un mejor soporte a una red de comunicación y generando ahorro(Oliva Alonso & Alonso Castro Gil, 2013)

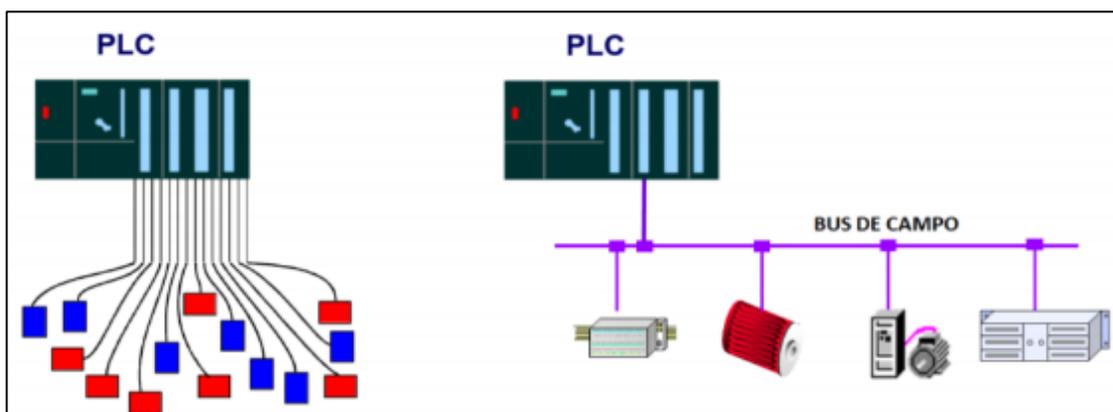


Figura 13- 1: Cableado de bus de campo.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

Permiten una conexión sencilla y eficaz entre sensores, evitando generar redes de cableado complejo, actualmente están muy poco normalizados, dando a lugar gran cantidad de variantes con diferentes características según la aplicación. (García Higuera, 2005, p.203)

1.5.1 Modelo OSI en las redes industriales

El modelo OSI fue una propuesta para identificar y establecer una clasificación de las funciones de sistemas y redes de comunicación, permitió diseñar redes de comunicación estructuradas en diferentes capas o niveles para simplificar la complejidad.(Oliva Alonso & Alonso Castro Gil, 2013)

- **Nivel físico.** Define componentes mecánicos, eléctricos, de procedimiento, y funcionales para activación, desactivación de conexiones físicas entre dispositivos, determina el tipo de conexión, naturaleza de la señal, tipo de medio de transmisión, etc. La seguridad en dicho nivel consiste en garantizar la protección del cableado y dispositivos interconectados para evitar pérdida de información.
- **Nivel de enlace.** Se refiere a la transferencia de los datos de un lado a otro en una red, se especifican protocolos de acceso al medio (MAC) y de enlace (LLC). Una de las principales vulnerabilidades existentes es la propia dirección MAC, es fácil de falsificar, la protección en dicho nivel se trata de creación de filtro de direcciones MAC y el cifrado de claves de conexión inalámbrica.
- **Nivel de red.** Se define como red lógica, es dirigida al usuario, y permite la creación de programas de gestión y presentación, se trabaja con el protocolo de red IP, presenta múltiples vulnerabilidades. (Aguilera Martínez, 2011, p.147)
- **Nivel de transporte.** Se encarga de asegurar el envío de datos entre equipos, se encarga del envío y recepción de paquetes, envío de confirmación de llegada de datos, control de duración de transmisión, control de errores de transmisión de paquetes, seguimiento de errores, recuperación de paquetes extraviados y reconstrucción.
- **Nivel de sesión.** Nivel encargado de mantener comunicación entre nodos, cuando la comunicación finaliza desconecta los nodos, controla la conversación de nodos conectados, administra token de comunicación, permite transmisión en el mismo momento entre nodos, sincroniza la transmisión en largas distancias
- **Nivel de presentación.** Nivel relacionado con la presentación de los datos, determina el formato dependiendo al tipo de maquina conectada a la red, encripta información en caso de usuarios no autorizados y permite la compresión descompresión de datos entre nodos de transmisión.

- **Nivel de aplicación.** Nivel encargado del acceso a aplicaciones para el usuario y servicios de aplicaciones de software, administra y transfiere archivos, permite acceso remoto a información, se encarga de gestión de correos electrónicos y emulación de terminales.(Torres, 2014, p.195)

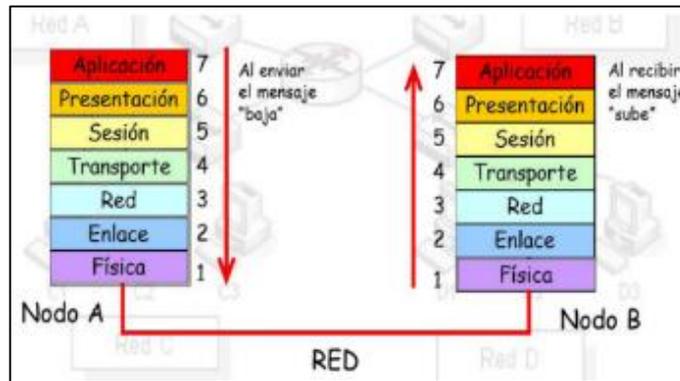


Figura 14- 1: Niveles OSI y sus procesos de comunicación.

Fuente: <https://n9.cl/11fh>

1.5.2 Ventajas e inconvenientes de los buses de campo

Los buses de campo, según la aplicación, ofrecen numerosas ventajas, como:

- **Flexibilidad.** Facilita la descentralización el montaje de un nuevo instrumento supone la simple conexión eléctrica al bus y una posterior configuración/programación, normalmente remota.
- **Seguridad.** Permite transmisión al mismo tiempo de señales de los sensores y actuadores.
- **Precisión.** Transmisión totalmente digital para variables analógicas.
- **Facilidad de mantenimiento.** Resulta posible diagnosticar el funcionamiento incorrecto de un instrumento y realizar calibraciones de forma remota desde la sala de control, es factible localizar errores de conexión de forma remota.
- **Reducción de la complejidad** del sistema de control en términos de hardware permite: reducción drástica del cableado, eliminar la presencia de grandes espacios para conexión de equipo de interconexión, reducción del número de PLCs, reducción de tiempo de instalación y personal.

El principal inconveniente se en la ruptura del único cable de interconexión, produciendo caída de la comunicación de todos los componentes conectados a la red y posiblemente el paro del proceso.(*Información Tecnológica.*, 2017, p.82)

1.5.3 Bus existentes en el mercado

Existen varios buses de campo utilizados en la industria, en la figura 15- 1, se muestra una comparativa según sus características más importantes.

BUS DE CAMPO	TOPOLOGÍA	MEDIO FÍSICO	VELOCIDAD	DISTANCIA SEGMENTO	NODOS POR SEGMENTO	ACCESO AL MEDIO
P-NET	Anillo	Par trenzado apantallado	76'8 Kbps	1.200 m	125	Paso de testigo Maestro/esclavo
PROFIBUS	Bus lineal Anillo Estrella Árbol	Par trenzado apantallado Fibra óptica	Hasta 12Mbps	Hasta 9'6 Km y 90 Km	125	Paso de testigo Maestro/esclavo
WORLDFIP	Bus lineal	Par trenzado apantallado Fibra óptica	Hasta 1 Mbps y 5Mbps	Hasta 5 Km y 20 Km	64	Arbitro de bus
HART	Bus lineal	Cable 2 hilos	1'2Kbps	3.000 m	30	Maestro/esclavo
MODBUS	Bus lineal	Par trenzado	Hasta 19'2Kbps	1 Km	248	Maestro/esclavo
INTERBUS-S	Anillo	Par trenzado	500 Kbps	400 m	256	Paso de testigo
BITBUS	Bus lineal	Par trenzado Fibra óptica	Hasta 1'5Mbps	Hasta 1.200m	29	Maestro/esclavo
CAN	Bus lineal	Par trenzado	Hasta 1 Mbps	Hasta 1.000m	127-64	CSMA/CD con arbitraje de bit
SDS	Bus lineal	Cable de 4 hilos	Hasta 1 Mbps	500 m	64	CSMA
DEVICENET	Bus lineal	Par trenzado	Hasta 500 Kbps	Hasta 500 m	64	CSMA/CDBA
CONTROLNET	Bus lineal Árbol Estrella	Coaxial Fibra óptica	5 Mbps	Hasta 3.000m	48	CTDMA
SERIPLEX	Bus lineal	Cable 4 hilos apantallado	98 Kbps	1.500m	300	Maestro/esclavo
AS-i	Bus lineal Árbol - Estrella	Cable 2 hilos	167 Kbps	Hasta 200 m	32-62	Maestro/esclavo
LON WORKS	Bus Anillo Libre	Par trenzado Fibra óptica Red eléctrica Coaxial Radio Infrarrojos	Hasta 1'25 Mbps	Hasta 2.700 m	64	CSMA/CA
ARCNET	Bus Estrella	Par trenzado Fibra óptica Coaxial	2'5 Mbps	122 m	255	Paso de testigo
M-BUS	Bus lineal	Cable 2 hilos	Hasta 9'6 Kbps	1.000 m	250	Arbitro de bus
UNI-TELWAY	Bus lineal	Par trenzado apantallado	Hasta 19'2Kbps	20 m	Hasta 28	Maestro/esclavo
COMPOBUS/S	Bus lineal	Cable de 2 ó 4 hilos	Hasta 750 Kbps	Hasta 500 m	32	Maestro/esclavo

Figura 15- 1: Tabla de comparativa entre buses de campo.

Fuente: <https://bit.ly/2gatRog>

1.5.4 Sistemas de comunicación

1.5.4.1 AS-I (Actuator Sensor Interface):

Sistema sencillo de controlar en promedio 5 ms por ciclo a 31 puntos máximos de bus cliente/servidor, transmisión de paquetes a 4 bits, a más de 100 metros de distancia entre nodos o 400 con repetidores. (Zhang, 2010, p.480)

1.5.4.2 Sistema Profibus:

Es el sistema más utilizado en la industria por ser estandarizado, mayormente a nivel europeo, presenta un máximo de 127 puntos de conexión, velocidad de transmisión de 9.6kbit/s-12Mbit/s, tiempo de ciclo de 9 ms hasta 246 bytes a una distancia de 9.6 km a 150 km, más utilizada en conexión de instrumentación o entre diferentes equipos.(Guerrero, 2009)

1.5.4.3 Sistema ProfiNet:

Nuevo sistema empleado en industria, mejora la tecnología Profibus, con número de nodos ilimitado, mayor estabilidad, compatibilidad entre protocolos TCP/IP y Web en tiempo real, estandarizado por medio de ethernet, presenta comunicación Wireless con protocolos de seguridad.(Pigan & Metter,2008, p.19.)

1.5.4.4 Sistema EtherCat:

Sistema de comunicación de código abierto implementado mediante protocolo Ethernet, en la actualidad es el más veloz sistema de comunicación para industria, es utilizado en procesos industriales complejos donde es necesario trabajar con una gran cantidad de datos en tiempos cortos.(Zurawski, 2009, p.21-17)

1.5.4.5 Sistema Modbus:

Sistema de comunicación creado por Modicon para comunicar sus redes de PLC, utilizado en gran cantidad de industrias, es uno de los protocolos presenta diversas versiones: Modbus RTU, Modbus TCP/IP, Modbus plus, Modbus ASCII, Pemex Modbus y Enron Modbus, a una distancia máxima de 15 m mediante puertos serie RS232 y RS 485. (Sánchez, 2018, p.475)

1.6 Programación de PLC

Existen diferentes tipos de lenguajes para programar un PLC, debido a la complejidad y la incompatibilidad entre autómatas programables, se elaboraron normas para regular las especificaciones a la hora de programar (IEC 1131-3, LEWIS 95, UNE 97). (Pérez et al., 2009, P.209)

1.6.1 Tipos de lenguajes

Generalmente se dividen en 2 cada uno con distintas formas programáticas:

- **Lenguajes literales:** Son instrucciones formadas por números, símbolos y letras, pueden ser lenguaje de lista de instrucciones o lenguaje de texto estructurado.
- **Lenguajes gráficos:** Las instrucciones se presentan de manera de figuras geométricas, Lenguajes de esquemas de contactos (LD), lenguajes de diagramas de funciones (FBD) y diagrama funcional de secuencia (SFC).

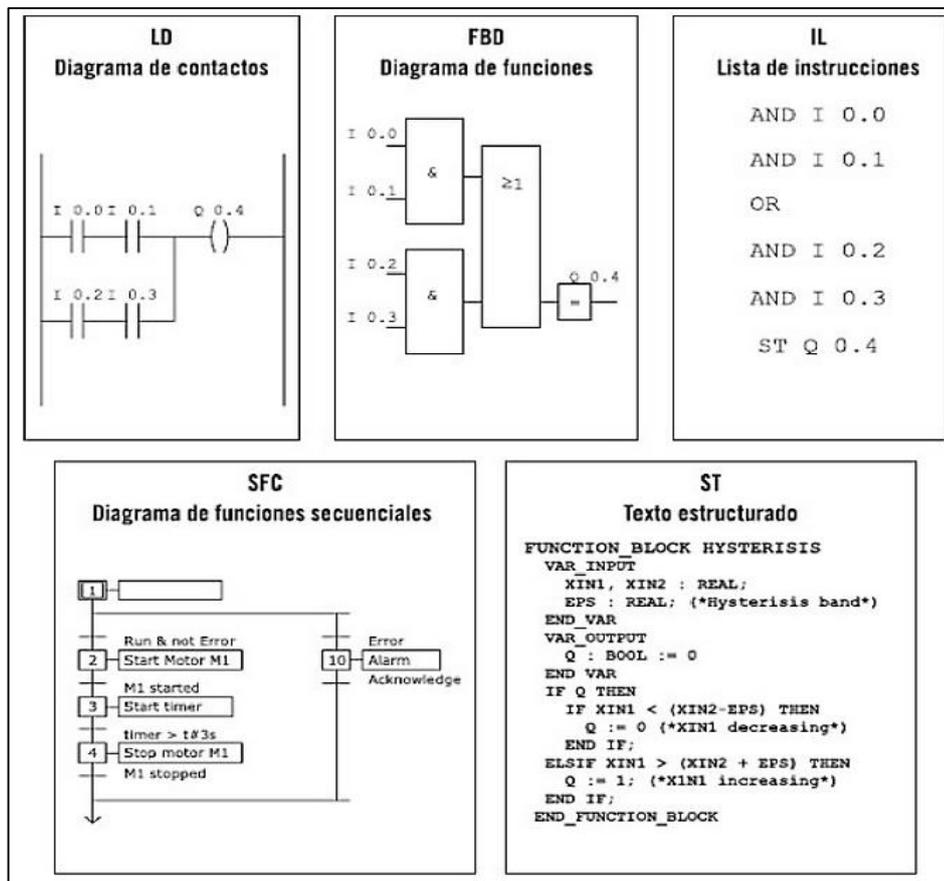


Figura 16- 1: Metodologías de programación de PLC.

Fuente: (Pardo Alonso, 2000)

1.6.2 Tipos de datos

Para realizar operaciones en un PLC es necesario determinar el tipo de dato y la información aportada, según normas especificadas anteriormente, los tipos de datos digitales presentes en un PLC se muestran en la figura 17- 1.

Denominación	Bits	Ejemplo	Descripción
BOOL	1	FALSE o TRUE	Variable binaria o lógica (<i>Boolean</i>)
INT	16	-32768 .. 32767	Número entero con signo (<i>Integer</i>)
UINT	16	0 .. 65535	Número entero sin signo
REAL	32	0.4560	Número real
BYTE	8	0 .. 255	Conjunto de 8 bits (<i>Byte</i>)
WORD	16	0 .. 65535	Conjunto de 16 bits (<i>Word</i>)
DWORD	32	0 .. $2^{32} - 1$	Conjunto de 32 bits (<i>Double Word</i>)
TIME		T#5d4h2m38s3.5ms	Duración
DATE		D#2002-01-01	Fecha
TIME_OF_DAY		TOD#15:35:08.36	Hora del día
DATE_AND_TIME		DT#2002-01-01-15:35:08.36	Fecha y hora
STRING		'AUTOMATA'	Cadena de caracteres

Figura 17- 1: Tipos de datos según norma IEC 1131-3.

Fuente: (Pérez et al., 2009a)

1.6.3 Identificación de variables

Las variables se clasifican según las formas de identificación, predefinidas y no predefinidas:

1.6.3.1 Variables predefinidas

Son las variables presentes en el lenguaje, según norma IEC 1131-3 son:

- Variables de entrada %In: Representan variables lógicas asociadas a un número n correspondiente al conector de entrada, %In/input).
- Variable de salida externa: Variables lógicas de salida asociadas a un número n del conector de salida, %Q (Output).
- Variable de salida interna %Mn: Variables lógicas internas de memoria asociado a un número n correspondiente a la ubicación en memoria del autómatas programable.

1.6.3.2 Valores no predefinidos:

El programador asigna un nombre y tipo mediante definición. (Pérez et al., 2009, p.212)

1.6.4 Instrucciones

La elaboración de un programa para el PLC en función a una lista de instrucciones se realiza mediante norma IEC 1131-3, dispone de 3 partes, se muestran en la figura 18- 1.

- Campo de operador: tipo de operación a realizar.
- Campo modificador: influye de cierta manera en el resultado de la operación.
- Campo operando: especifica las variables ejecutadas en la operación.

Operador	Modificador	Operando	Descripción
LD	N		Selecciona la primera variable
ST	N		Actúa sobre una variable de salida
S		Variable lógica (<i>Bool</i>)	Pone una variable de un bit a 1
R		Variable lógica (<i>Bool</i>)	Pone una variable de un bit a 0
AND	N, (	Variable lógica (<i>Bool</i>)	Y lógica de un bit
OR	N, (	Variable lógica (<i>Bool</i>)	O lógica de un bit
XOR	N, (	Variable lógica (<i>Bool</i>)	O exclusiva de un bit
ADD	(		Suma (Addition)
SUB	(		Resta (Subtraction)
MUL	(		Multiplicación (Multiplication)
DIV	(		División (Division)
MOD	(		Resto de la división (Modulo-Division)
GT	(		Comparación > (Greater Than)
GE	(		Comparación >= (Greater Equal)
EQ	(		Comparación = (Equal to)
NE	(		Comparación <> (Not Equal)
LE	(		Comparación <= (Less Equal)
LT	(		Comparación < (Less Than)
JMP	C, N	Etiqueta (<i>Label</i>)	Salto a etiqueta (Jump)
CAL	C, N	Nombre (<i>Name</i>)	Saltar a un bloque funcional (subprograma)
RET	C, N		Retorno de bloque funcional (subprograma)
)			Evaluar la operación aplazada
AND	N, (	<i>Byte, Word, DWord</i>	Y lógica entre combinaciones binarias
OR	N, (	<i>Byte, Word, DWord</i>	O lógica entre combinaciones binarias
XOR	N, (	<i>Byte, Word, DWord</i>	O exclusiva entre combinaciones binarias

Figura 18- 1: Instrucciones del lenguaje de lista de instrucciones norma IEC 1131-3.

Fuente: (Pérez et al., 2009)

1.6.5 Lenguaje normalizado de esquema de contactos

La tarea a realizar por el autómata se especifica gráficamente, dicho lenguaje fue implementado para facilitar el cambio de sistema de control lógico por relés a uno por PLC y facilitar el diseño de sistemas de control, se caracteriza por presentar variables lógicas por medio de contactos y relés, los contactos pueden ser abiertos o cerrados, las líneas laterales representan el flujo del programa de izquierda a derecha, se puede hacer bifurcaciones, presentan una analogía a los circuitos eléctricos..(Antúnez Soria, 2016)

Las bobinas del relé son representadas por “()” generalmente representan una salida o memoria, a cada contacto se le asocia una variable para identificar la instrucción que realiza, es conveniente recordar eso uso del símbolo “%” en las variables predefinidas para distinguirlas al momento de compilar, pero en los esquemas y descripción se deben omitir. (Pérez et al., 2009, p.245)

Símbolo	Descripción	Comentario
	Contacto normalmente abierto NA	Representa una variable interna respecto a E/S o bit de sistema. Puede asimilarse a que en estado de reposo no permite el paso de la corriente eléctrica y sí cuando se activa, es decir, cuando se activa la variable toma el valor de uno lógico.
	Contacto normalmente cerrado NC	Representa una variable interna respecto a E/S o bit de sistema. Puede asimilarse a que en estado de reposo permite el paso de la corriente eléctrica y sí cuando se activa, es decir, cuando se activa la variable toma el valor de cero lógico.
	Bobina de salida	Cuando recibe 1 lógico en su entrada se activa, presentado 1 lógico en su salida. Se utiliza generalmente para representar elementos de salida.
	Bobina de salida invertida	Cuando recibe un 0 lógico en su entrada se activa, presentado un 0 lógico en su salida. Se utiliza generalmente para representar elementos de salida.

Figura 19- 1: Simbología de diagrama de contactos.

Fuente: (Antúnez Soria, 2016)

1.6.5.1 Operaciones de memorización y bloques de funciones

En el lenguaje de contactos se definen ciertas operaciones para facilitar la memorización de variables, en la figura 1-18 se muestran y describen su funcionamiento.

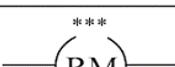
*** 	La variable asociada con la bobina se activa cuando se cierra el circuito de contactos conectado en serie con ella y permanece activa aunque el circuito se abra. *** representa el nombre de la variable (operando).
*** 	La variable asociada con la bobina se desactiva cuando se cierra el circuito de contactos conectado en serie con ella y permanece activa aunque el circuito se abra. *** representa el nombre de la variable (operando).
*** 	La variable asociada con la bobina se activa o desactiva según se cierre o se abra el circuito de contactos conectado en serie con ella. Además, mantiene su valor cuando falta la tensión de alimentación.
*** 	Su comportamiento es idéntico al de la bobina (S), con la diferencia de que mantiene su valor cuando falta la tensión de alimentación.
*** 	Su comportamiento es idéntico al de la bobina (R), con la diferencia de que mantiene su valor cuando falta la tensión de alimentación.

Figura 20- 1: Operaciones de memorización del lenguaje de contactos.

Fuente: (Pérez et al., 2009)

Cada operación presenta su distintivo bloque para el caso de funciones lógicas presentan formato FBD, las operaciones presentes en un PLC se presentan en la figura 21- 1.

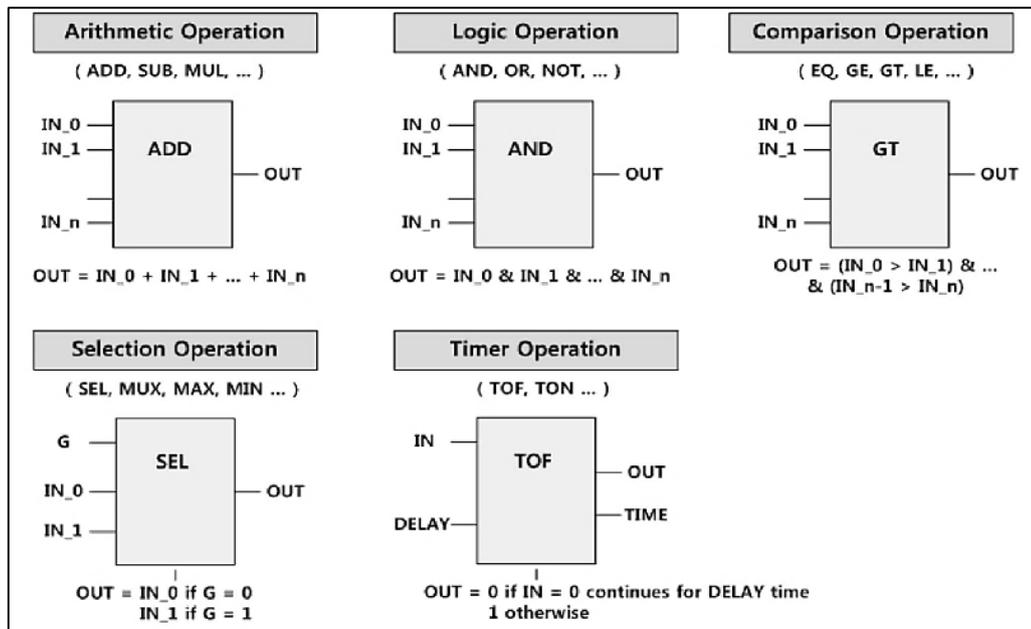


Figura 21- 1: Bloques de funciones norma IEC 1131-3.

Fuente: <https://bit.ly/2YzTAyD>

1.6.5.2 Esquema ladder de funcionamiento de PLC

El esquema de representación de operación de un PLC mediante un programa en lenguaje de contactos da a conocer el funcionamiento de relaciones y proceso entrada, proceso y salida, dicho esquema es mostrado en la figura 22- 1. (Rohner, 1996, p.14)

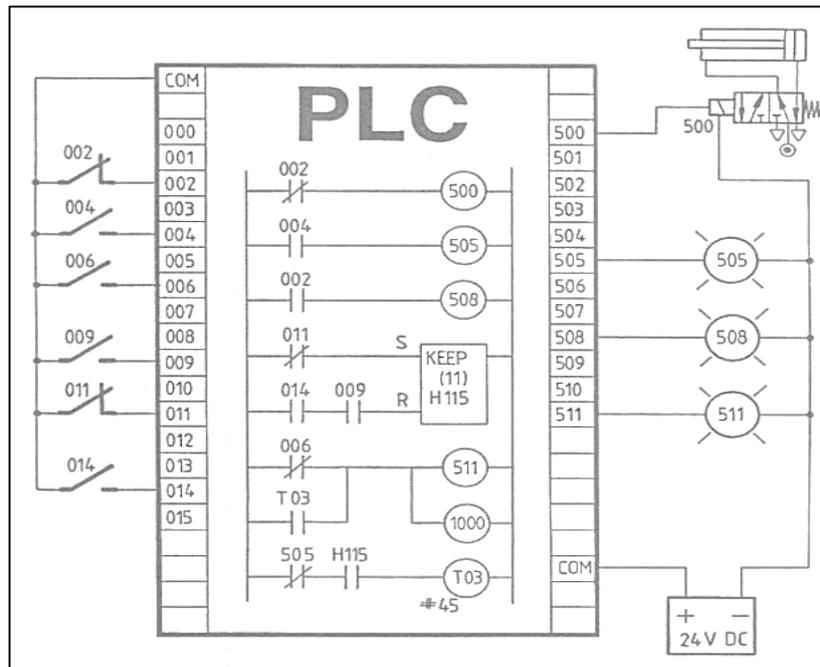


Figura 22- 1: Diagrama Ladder y estructura de conexión de un PLC.

Fuente: (Rohner, 1996)

1.6.6 Grafo funcional de control etapa-transición (Grafset)

Surgió en Francia en 1977 por colaboración de distintos fabricantes de autómatas, con el fin de crear un método de representación de procesos entendible para cualquier técnico, para ser programado en un PLC, es un método gráfico del comportamiento de un proceso automatizado, formado por estados y transiciones conectado por líneas de enlace, representa una herramienta de descripción de funcionamiento de un sistema, actualmente está presente en automatizaciones industriales y su funcionamiento es regulado por normas. (Guerrero Saiz, 2019, p.20)

1.6.6.1 Elementos de un Grafcet

Los principales elementos de un Grafcet son: (Pérez et al., 2009)

- **Etapas:** representa la situación del sistema en determinando momento, generalmente puede ser activo o inactivo, el estado de reposo corresponde al momento inicial de puesta en marcha del sistema.
- **Transición:** condición lógica producida en el sistema para cambiar los estados del Grafcet, suelen ser funciones booleanas.
- **Líneas de enlace:** unión de etapas, representan actividades consecutivas, cuyo flujo es de arriba hacia abajo.
- **Reenvíos:** símbolos en forma de flechas para indicar procedencia o destino de líneas de enlace, permiten seccionar grafos y evitan conglomeración de líneas de enlace.

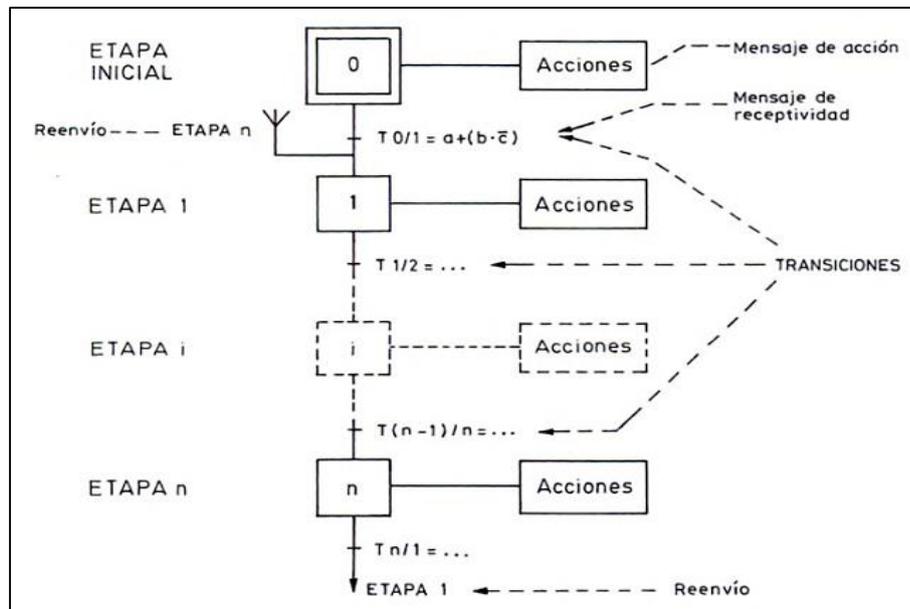


Figura 23- 1: Elementos de un Grafcet.

Fuente:(Pérez et al., 2009)

1.6.6.2 Repetición de secuencias

Permite repetir una serie de estados hasta satisfacer una condición:

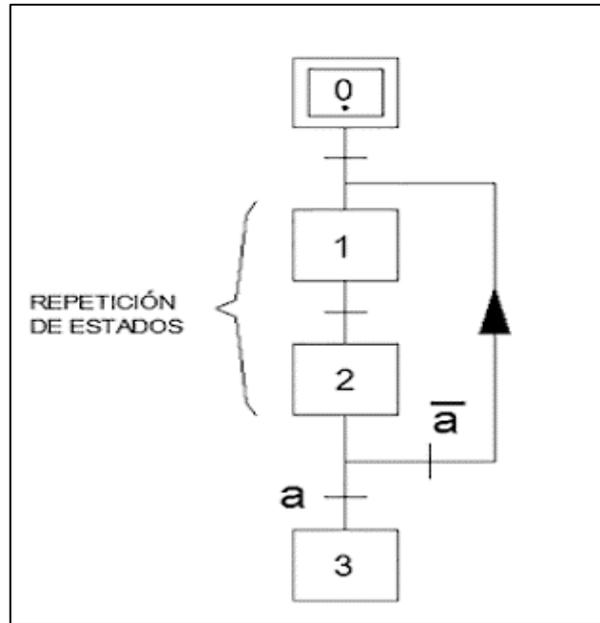


Figura 24- 1: Repetición secuencia Grafcet.

Fuente: (Guerrero, 2019)

1.6.6.3 Activación simultánea y sincronización

La activación simultánea es cuando todas las secuencias son activadas al mismo tiempo, permitiendo la activación de varios estados y la sincronización de secuencias se da al tener varios estados activos convergiendo. (Ponsa Asensio & Vilanova Arbós, 2005, p.25)

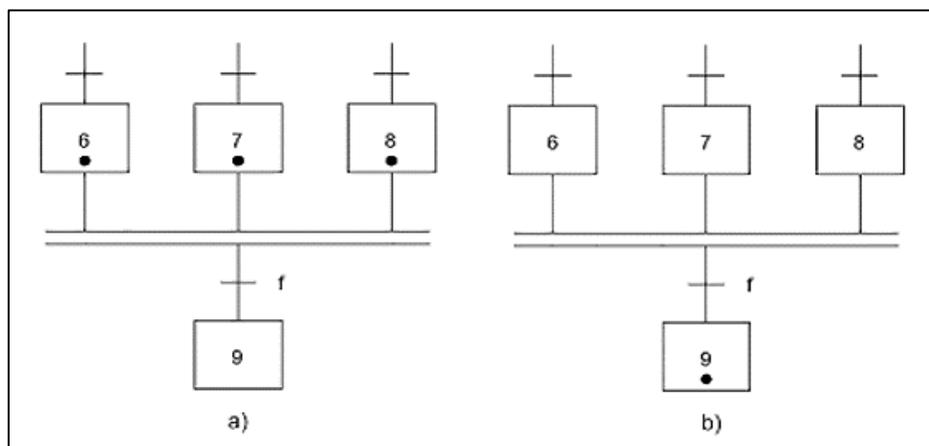


Figura 25- 1: Secuencias simultáneas y sincronizadas.

Fuente: (Guerrero Saiz, 2019)

1.6.7 Software de programación.

En la actualidad los fabricantes de PLC han optado por la norma IEC1131-3, reduciendo incompatibilidad por cambio de plataforma, pero dependiendo al fabricante se emplean distintos programas, aunque exista incompatibilidad por dispositivo todos los operan con analogía sobre los mismos principios de programación. (García, 2018, p.138)

Es necesario conocer el software de programación dependiendo a la marca de PLC, en la Tabla 1- 1, se muestra el autómeta con su respectivo software utilizado.

Tabla 1- 1: Principales marcas de PLC y software de programación.

Marca	Software
Siemens	TIA Portal, LOGO, Soft Comfort
Omron	CX-Programmer, Sysmac Studio
Mitsubishi	Melsoft, IQ Works
B&R	Automation Studio
Rockwell	CCW Workbench
Beckhoff	TwinCat, CODESYS
Schneider Electric	TwidoSuite, SoMachine, Zelio Soft, PL7, Unity Pro, Concept
Unitronics	Visilogic
ABB Eaton Wago	CODESYS

Fuente:(Escaño, 2019)

Realizado por: Chiluisa, 2019

1.7 Sistema HMI – SCADA

1.7.1 *Introducción al sistema scada*

Control con supervisión y adquisición de datos o SCADA, se define como un software de acceso a datos remotos, capaz de controlar y supervisar variables presentes en un proceso, entre niveles de control y niveles superiores de gestión de procesos, es una aplicación informática diseñada sobre ordenador con posibilidades de gestión en tiempo real, ofrece interface gráfica tipo HMI, pero no todos los sistemas con disposición de HMI son SCADA. (Molina Martínez & Jiménez Buendía, 2010, p.198.)

El software scada es una aplicación diseñada para operar en ordenadores, permite el control de procesos, otorgando comunicación entre dispositivos y controlando procesos de forma automática desde el ordenador, provee toda la información recolectada durante todo el proceso, puede gestionar todo tipo de información con posibilidad de supervisar cualquier proceso, para diseñar una aplicación SCADA se pueden utilizar programas proporcionados por distintos fabricantes, basados en lenguajes de programación como Visual Basic, C++ y demás. (Ruiz Canales & Molina Martínez, 2010, p.305.)

Cada aplicación desarrollada debe contar con las siguientes funciones:

- Opciones de control y supervisión de procesos por medio de una interface gráfica,
- Señales de alerta al operador de fallos, situaciones que no se consideren normales y demás.
- Registros históricos de señales del proceso.
- Gestión de datos, cálculos complejos y almacenamiento.

Así podemos desarrollar aplicaciones en ordenador, para captar datos, analizar señales, envío de resultados, control, presentación en pantalla, servidor Web, etc. (Molina Martínez & Jiménez Buendía, 2010, p.198)

1.7.2 Ventajas de un sistema SCADA

Al hablar de un sistema SCADA se debe tener presente el conjunto de elementos de regulación y control funcionando, las ventajas de la implementación de dicho sistema pueden ser: (Rodríguez, 2007, p.21)

- Permite creación de funciones sin necesidad de ser experto en programación.
- La implementación por medio de PLC proporciona robustez y fiabilidad al sistema de control.
- Localización más rápida de errores debidos el modularidad de los autómatas.
- Integración de cualquier dispositivo de campo.
- Uso de RTU para comunicación remota.
- Modificar el software desde locaciones remotas
- Documentación de los programas de control para mejor entendimiento de los operarios.
- Información continúa sobre cualquier incidencia en equipos.
- Visualización de información relevante a los operarios.
- Por medio de tecnologías celulares se puede informar a los operarios de cualquier incidencia.
- Acceso desde cualquier punto por medio de tecnología web.
- Limitación de acceso mediante protocolos de seguridad.
- Herramientas de diagnóstico para aumentar calidad de producción.
- Reducción de personal.
- Integración entre niveles CIM.

1.7.3 Funciones de un sistema SCADA

Un sistema SCADA debe realizar ciertas funciones básicas:

- Recolectar, almacenar y mostrar información continua de los dispositivos de campo.
- Realizar operación de control ejecutadas por los operarios.
- Generar alertas a los operarios en caso de detectar funcionamiento anormal en el proceso.
- Elaborar informes, gráficos, histogramas, cálculos, detección de averías y demás aplicaciones generales. (García Higuera & Castillo García, 2007, p.181)

1.7.4 Software de uso en sistema scada

Vincular el software SCADA con el resto de los elementos de software y hardware conlleva a una estructura de control distribuido, en un sistema SCADA se pueden distinguir los siguientes elementos:

- **Base de Datos:** núcleo donde se depositan los datos del sistema.
- **Adquisición de Datos:** el sistema recopila datos, interpreta y presenta la información más importante requerida en un proceso, pueden usarse buses de campo o dispositivos de adquisición dependiendo de la complejidad del sistema.
- **Interface hombre-máquina (HMI):** modulo con capacidad de supervisión y control, pueden ser interfaces por ordenador.

En general un sistema SCADA debe presentar las siguientes funciones:

- **Adquisición de datos,** recolectar, procesar y almacenar la información recibida, - supervisar desde un monitor la evolución de las variables del proceso.
- **Control,** para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos, directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.

Todos los instrumentos de campo deben ir conectados a un equipo de adquisición de datos y control.(Ruiz Canales & Molina Martínez, 2010, p.306)

1.7.5 HMI

Es un dispositivo o sistema para interacción de persona y máquina, consisten en paneles compuestos por comandos e indicadores interconectados con el proceso o máquinas, actualmente pueden ser pantallas sensibles al tacto, también está presente la forma de programar, usando software especializado para crear el entorno para manejo e interacción de datos sobre el proceso, generalmente su comunicación con los dispositivos se hace por medio de un servido de comunicación, se encarga de establecer enlaces entre el software y los dispositivos. El HMI puede conectarse al ordenador para ser programado o estar incluido en un PLC. (Molina Martínez & Jiménez Buendía, 2010, p.196)

1.7.5.1 Software HMI/SCADA

En la actualidad existe un amplio mercado con productos HMI/SCADA, el crecimiento del mercado provocado por los requerimientos de sistemas automatizados generó una gran cantidad de marcas y sus paquetes de software, los fabricantes de PLCs han optado por la norma IEC 61131-3 para disminuir la incompatibilidad en el cambio de plataforma de programación, pero de igual manera cada fabricante presenta distinto software para sus autómatas. (García, 2018, p.138)

Software	Empresa
Aimax	Desin Instruments
All-Done SCADA	Freixas Ros
Automainge	Automainge
Captor	Sisteplant
Checksys Objects	M2R
CIC	CJM Software
ControMaestro Supervision Software	Elutions
CUBE	Orsi España
Cx-Supervisor	Omron
Digivis	Elsag Bailey Hartmann & Braun
Experion PKS (evolución de TDC3000, TPC y Plantscape)	Honeywell
Factory Suite A2	Logitek/Wonderware
FIX y iFIX 3.5	Intellution
I/A	Foxboro
IGSS32	AN Consult España
InTouch	Logitek, SA/Wonderware
Lookout/Labview	National Instruments
Monitor Pro	Schneider Electric
P6008	Foxboro SCADA
Pack-Centre	Agecontrol
Pyman	Pyssa
Proasis DC S Win/Plus	Design Instruments
Quick SPC	Marposs
RSView32	Rockwell Automation
SCADA inTouch	LOGITEK
SCADA-Vs	Foxboro/Foxcada
Scatt Graph 5000	ABB
SYSMAC-SCS	Omron
WinCC	Siemens

Figura 26- 1: Paquetes HMI/SCADA comerciales.

Fuente: (Vázquez, 2013)

1.8 Gestión de archivo de datos

Este módulo del paquete SCADA se encarga del almacenamiento, procesado y gestión eficaz y ordenada de los datos que el sistema debe disponer, así como de los generados. Estos datos, cuya importancia es fundamental en la estructura global del sistema, deben poseer los formatos adecuados para ser reconocidos por los equipos implicados, dándole a toda la coherencia necesaria.

1.8.1 Comunicación

La comunicación en un sistema SCADA es la función más importante, se encarga de soportar la transferencia de información del proceso y el hardware sobre el cual actúa el sistema, dicha comunicación debe presentar ciertas características:

- La unión mediante redes de comunicaciones de los diferentes ordenadores.
- Conexión entre el sistema SCADA y dispositivos de control, por diversos medios: lazos de corriente, líneas RS-232, RS-422, RS-485, fibra óptica y demás.
- La unión con elementos auxiliares de comunicación (gateway, router, bridge) para permitir el flujo de datos entre redes diferentes.

Las aplicaciones SCADA debido a su gran costo de personalización para procesos específicos, han sido reservadas para aplicación en industria. (Manoj, 2019)

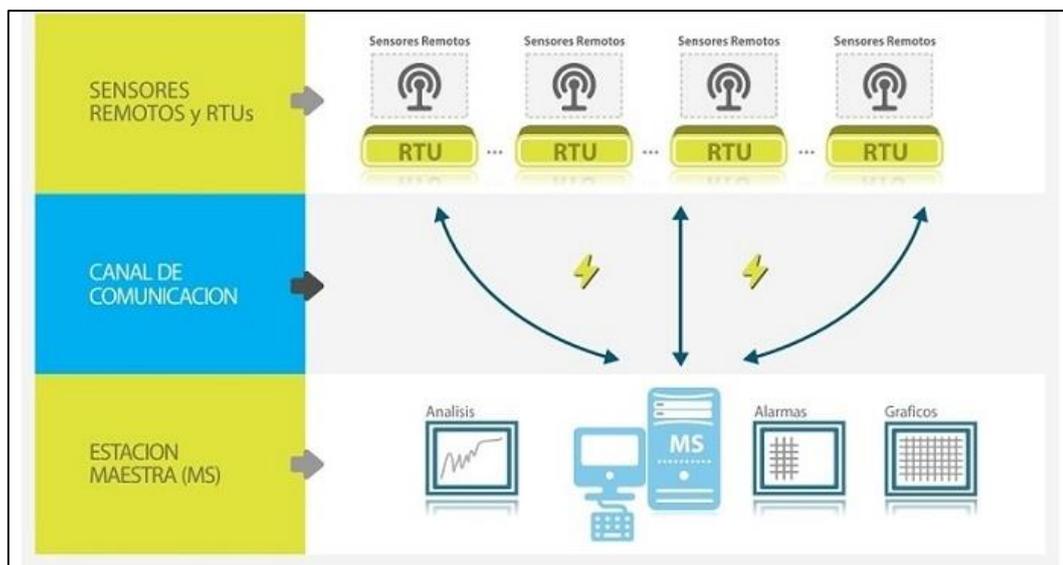


Figura 27- 1: Esquema de un sistema SCADA.

Fuente: <http://www.gningeneria.net/V4/es/scada.php>

1.9 Generalidades del sistema SCADA

1.9.1 Sistema

En la actualidad es la composición de PLCs, HMI y un sistema de red de comunicación, la mayoría de los componentes requieren programación desde un software especializado, conjuración gráfica y configuraciones de conexión. (McCrary, 2013, p.5)

1.9.2 Sistema de adquisición de datos

Sistema encargado de la recolección y procesamiento de información de procesos para su posterior almacenamiento, transmisión o manipulación para la obtención de información suplementaria.(Colbert & Kott, 2016, p.26)

1.9.3 Control

Cualquier sistema controlado puede serlo de 2 maneras, confiando en los parámetros de diseño como correctos y esperar el cumplimiento de las órdenes de sistema o vigilando continuamente las ordenes enviadas para su cumplimiento y corrección en caso de ser necesario. Existen básicamente dos tipos de control industrial:

- **Control de lazo abierto.** – Generalmente son sistemas temporizados, cuyo valor de salida no depende del valor de señal de entrada.
- **Control de lazo cerrado.** - Sistema cuyo fin es mantener una relación entrada/salida, ocasionada por una retroalimentación de la señal de salida. (Rodríguez Penin, 2007, p.6)

1.9.4 Control supervisorio

Además de la supervisión realizada de forma instantánea, las industrias modernas cuentan con complejos sistemas de supervisión del funcionamiento de sus procesos, permitiendo disponer de forma centralizada gran cantidad de información sobre el estado de funcionamiento de la planta y sus distintos componentes, además debido al volumen de información es necesario manejar sistemas de manejo de planta mediante paquetes informáticos, generalmente llamados SCADA, las formas de control de los sistemas se pueden clasificar de la siguiente forma:

- **Control manual.** – Un operario u operarios deciden el 100% de las operaciones a ejecutar en un proceso.

- Control semiautomático. – Ciertas actividades son realizadas a discreción de un operario y las demás funciones son por parte de sistemas automatizados.
- Control automático. – Todas y cada una de las actividades presentes en un proceso son realizadas por un sistema automatizado. (García Higuera & Castillo García, 2007, p.177)

1.9.5 Señal analógica

Se define como una señal continua en el tiempo, puede tener cualquier valor dentro de un rango definido, en un sistema de control pueden ser entradas, salidas o perturbaciones, generalmente son transformadas a un rango digital para ser entendida por los dispositivos dentro de un proceso de control, corresponden a fenómenos electromagnéticos y representan funciones matemáticas definidas en el tiempo, se emplean dispositivos convertidores de señal para transformar a valores digitales. (Clarke, Reynders, & Wright, 2004)

1.9.6 Señal digital

Puede tomar valores dentro de un conjunto discreto de valores e instantes determinados, suele tratarse de operaciones realizadas sobre señales originales o analógicas. (Clarke et al., 2004)

1.9.7 Tiempo real

El instante preciso de medida de un valor con respecto a una acción real, cuando se emplean dispositivos para obtención de información de campo aparece un tiempo de retardo, puede incidir en la exactitud de la medición instantánea del valor requerido, el tiempo de después de medición es un aspecto clave en sistemas de control, dicho sistema debe operar frente a estímulos del entorno y actuar en un periodo finito de tiempo.(García, 2017, p.1)

1.10 Hardware

Un sistema SCADA necesita ciertos componentes inherentes de hardware en su sistema para poder tratar y gestionar la información captada. (Clarke et al., 2004, p.15)

Los componentes de hardware presentes en un sistema SCADA pueden ser:

- Unidad terminal maestra (MTU).
- Unidad remota de telemetría (RTU).
- Red de comunicación.
- Instrumentación de campo.

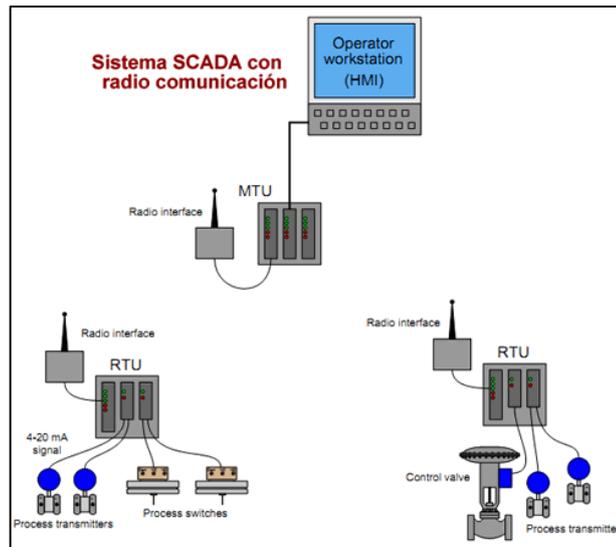


Figura 28- 1: Comunicación y hardware SCADA.

Fuente: <https://cutt.ly/mwrj454>

1.10.1 Unidad terminal maestra (MTU)

Es el ordenador sobre el cual se ejecuta el sistema SCADA, se sitúa en el nivel de gestión, generalmente sobre un PC con HMI supervisando y capturando información de los demás niveles, también transforma la informa y envía consignas, y actual obre la interface del operador presentado información en tiempo real.(Vázquez, 2013, p.126)

1.10.2 Unidad remota de telemetría (RTU)

Es un dispositivo instalado en un lugar remoto del sistema, encargado de recolectar la información y luego transmitirlos hacia el MTU, presenta canales de entrada para detección y medición de variables del proceso y canales de salida para control y comunicación, la tendencia actual es dotar de dispositivos RTU para la comunicación de PLCs.(Manoj, 2019)

1.10.3 Red de comunicación

Medio o agrupación de medios para permitir el intercambio de información entre la red de gestión, automatización y la de campo. La gran variedad de buses de comunicación en función del sistema SCADA, siendo los más comunes Profibus, AS-i, ProfiNet, y Modbus.

1.10.4 Instrumentación de campo

Son todos los instrumentos de medición, autómatas, controladores y actuadores encargados de captar información y ejecutar consignas de varios niveles, actuando sobre el proceso de forma física. (Vázquez, 2013, p.126)

1.11 Sistema de mezclado

Un sistema de mezclado de líquidos presenta dispositivos mecánicos, incluyen tres partes básicas: un impulsor, un eje y una caja reductora de velocidad, el impulsor constituye el elemento de movimiento para realizar la mezcla, montado en un eje vertical, horizontal o inclinado. El accionamiento puede conectarse directamente a un motor o un eje. La multitud de configuraciones del impulsor se ha agrupado en cinco categorías distintas, de las cuales solo las cuatro primeras son de gran importancia industrial. El proceso de agitación y mezclado está presente en gran parte de los procesos industriales

Según la aplicación se dispondrá de diferentes maneras de agitación de fluidos dentro de un tanque, dependerá en mayor medida del diseño de los elementos internos a utilizar, durante varios años, el diseño de sistemas de mezcla se ha realizado de forma empírica, basándose en aspectos como la potencia requerida, corte de fluido, tiempo de mezcla, y patrones de flujo.

1.11.1 Partes de un sistema de mezclado.

Un sistema de mezclado generalmente consta de varias partes dependiendo la complejidad requerida, un dispositivo de movimiento para agitar, una entrada de alimentación de líquido, deflectores del tanque para mejorar la mezcla del líquido, impulsores para mover el líquido y mezclarlo, una coraza de enfriamiento o calefacción y una salida para la mezcla, dichos elementos pueden observarse en la figura 29- 1.

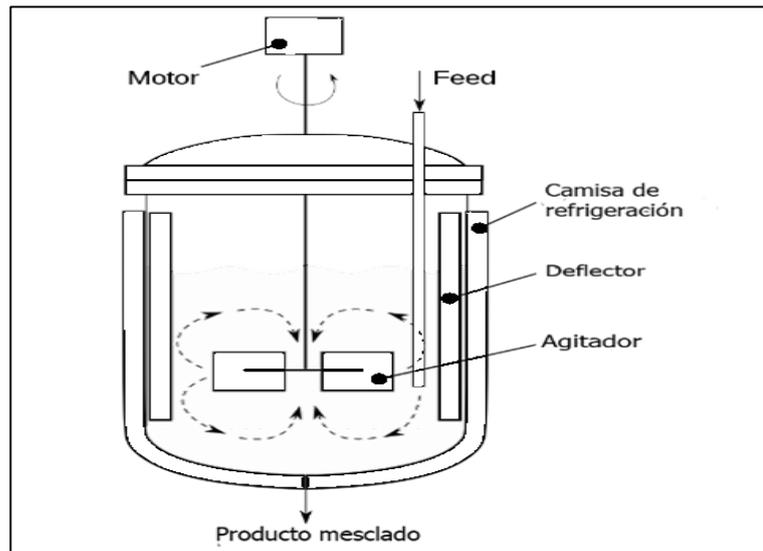


Figura 29- 1: Esquema de tanque para mezcla de líquidos.

Fuente: <https://cutt.ly/swrkk2L>

La agitación es la operación de crear movimiento irregular en torno al fluido, la trayectoria del flujo dependerá de las características del impulsor, los impulsores de tipo radial y axial presentan una distribución homogénea del fluido, impulsores de tipo ancla proporcionan poco mezclado, la selección del tipo de impulsor depende de las características del fluido, en la figura 30- 1 se muestran los tipos de impulsores más usados. (Cheremisinoff, 2000, p.437)

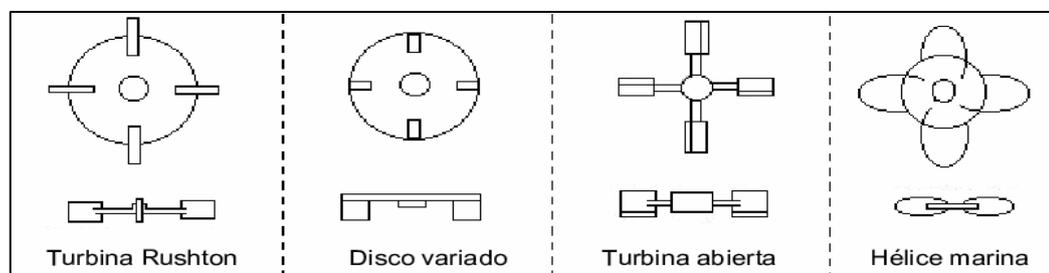


Figura 30- 1: Tipos de impulsores.

Fuente: <https://cutt.ly/ewrkchx>

1.12 Sistema de dosificado

La dosificación es el proceso de aplicación de sustancias mediante aparatos capaces de liberar cantidades determinadas de productos en un lapso tiempo, dispone de un sistema de control para fijar la cantidad determinada de producto a liberar, de acuerdo con el estado de la sustancia:

Tabla 2- 1: Dosificadores de sustancias.

SECOS	Volumétricos	Plato Garganta Cilindro Tronillo Estrella Correa
	Gravimétricos	Correa transportadora Pérdida de peso
SOLUCIÓN	Gravedad	Orificio de carga constante o regulable Torres de saturación
	Bombeo	Desplazamiento rotatorio Desplazamiento positivo
	Boquillas	
GAS	Solución al vacío	
	Aplicación directa	

Fuente: <https://cutt.ly/0wrkNx7>

Realizado por: Chiluisa, 2019

1.12.1 Dosificado de sustancias secas.

Para la dosificación de sustancias conformadas por polvo, los dosificadores pueden ser volumétricos y gravimétricos, para la selección del tipo de dosificador se debe tener en cuenta precisión, tipo de producto y rango de trabajo.

- **Volumétricos:** determina la dosis al medir el volumen de material presente en un mecanismo móvil a velocidad constante, los dosificadores comúnmente usados son: válvula alveolar, disco giratorio, cilindro giratorio, tornillo y plato oscilante., la variación del caudal se regula por acción de control sobre el dispositivo utilizado, puede ser un motor de velocidad variable, la relación de velocidad determina la dosis en determinado tiempo.(Ebnesajjad, 2013, p.201)

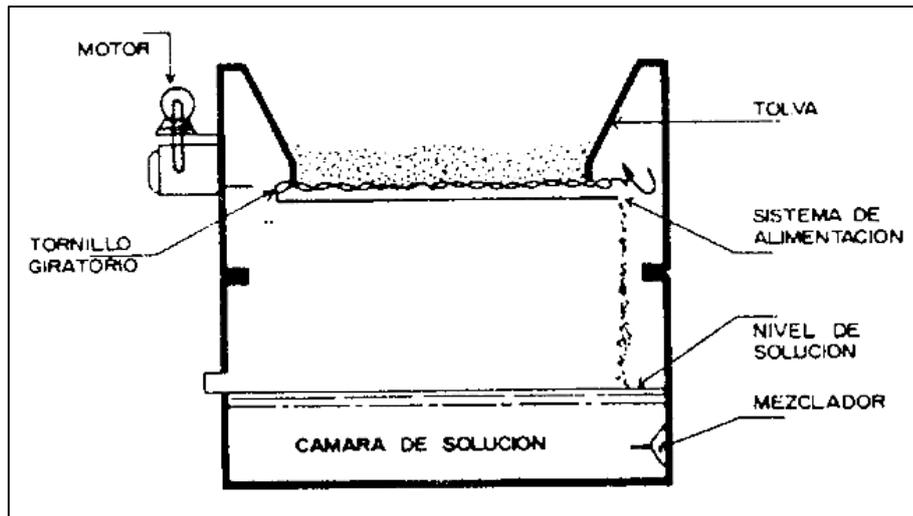


Figura 31- 1: Dosificador volumétrico tipo tornillo giratorio.

Fuente: <https://bit.ly/2YRYXsq>

- Gravimétricas:** La cantidad de producto se mide en función al peso, o pérdida de peso del material introducido en una tolva, se usan correas transportadoras, el mecanismo más utilizado es una diferencia de peso de entrada con respecto a la salida de material, el mecanismo de correa transportadora se desplaza sobre la plataforma de una balanza, regulando el peso correspondiente por dosis, los dispositivos como válvulas regulan la dosificación en caso de no ser el peso predefinido de salida, el rango de dosificación también se puede regular por la velocidad de la banda. (Basu, 2019, p.93)

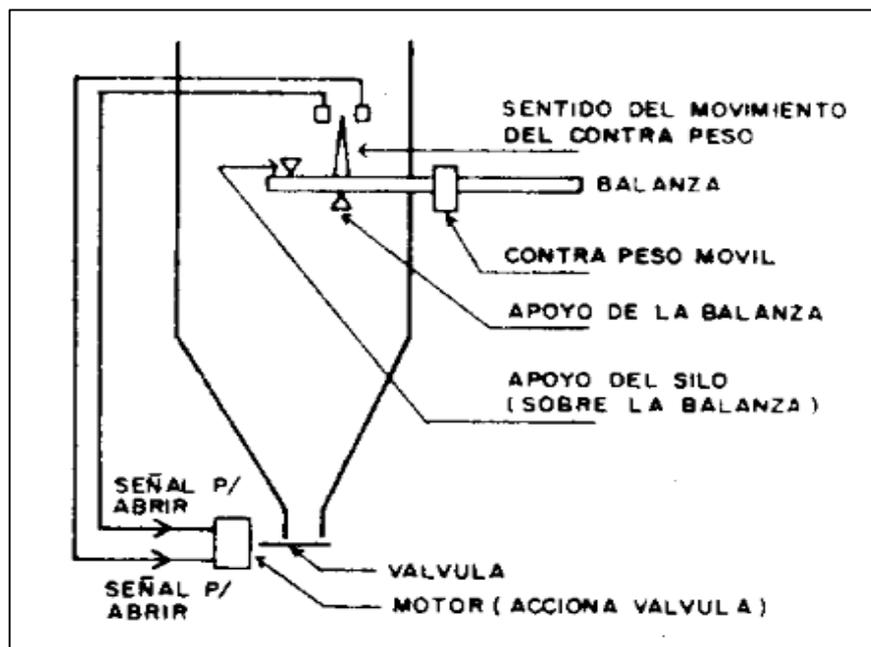


Figura 32- 1: Dosificador gravimétrico de pérdida de peso.

Fuente: <https://bit.ly/2YRYXsq>

1.12.2 Dosificador de soluciones.

La regulación se efectúa directamente sobre la sustancia, se puede realizar de 2 formas: por bomba y por gravedad.

- **Bomba:** en sistemas de dosificado por bomba los más comunes son con bomba de pistón y por diafragma, siendo la bomba de pistón un dispositivo preciso, pero debe usarse con precaución en caso de sustancias corrosivas. (Basu, 2019, p.1012)

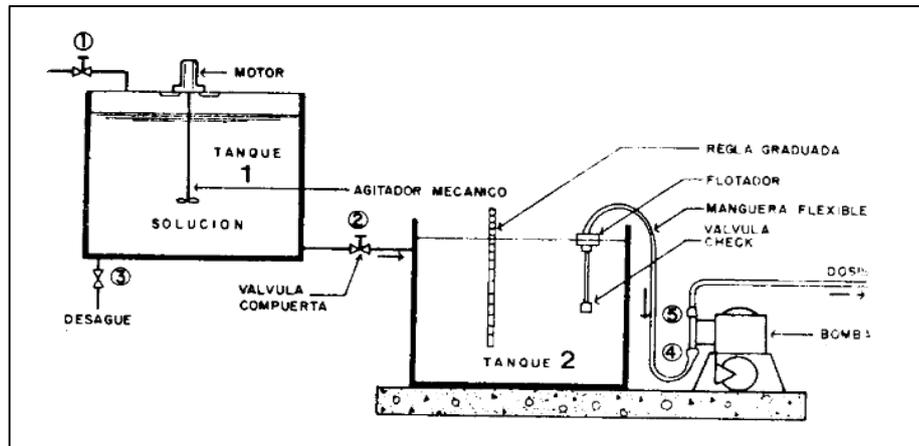


Figura 33- 1: Sistema de dosificado con bomba.

Fuente: <https://bit.ly/2YRYXsq>

- **Gravedad:** empleadas en plantas pequeñas, en sistemas de carga constante y regulable, consisten en mantener una carga de sustancias constante sobre una salida para obtener un caudal de dosificación constante, dicho caudal puede ser regulado a la salida mediante una válvula. (Akers, 2010, p.279)

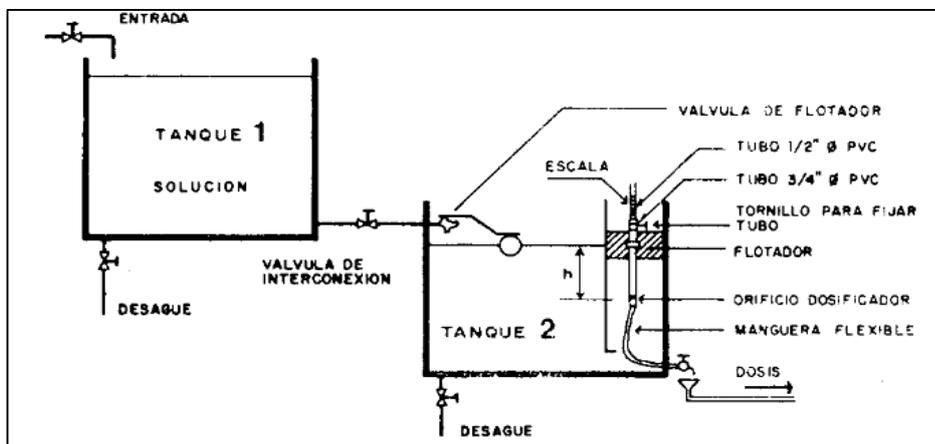


Figura 34- 1: Dosificador de tubo calibrado para regular carga.

Fuente: <https://bit.ly/2YRYXsq>

1.13 Sistema de transporte

Por lo general en la industria se usan sistemas de transporte basados en bandas o cintas transportadoras, son aparatos para desplazar objetos sólidos y material a cierta velocidad y grandes distancias.(Larrode, Catejón, & Cuartero, 1998, p.487)

Todas las bandas transportadoras son diseñadas según ciertos requerimientos, los cuales pueden ser:

- Capacidad de carga: es la máxima carga por unidad de superficie capaz de gestionar la cuenta transportadora. Dicho valor debe ser respetado para evitar problemas en dispositivos de tracción o deformación de la superficie.
- Velocidad de transporte: Normalmente su dimensionamiento se realiza en función del proceso, en caso de transporte es a grandes velocidades, pero en líneas de producción con manipulación es a bajas velocidades.
- Medidas máximas y mínimas: es posible estandarizar las medidas de diseño, pero se debe tener en cuenta aspecto normas e interacción con maquinaria presente en la instalación.(Comesaña Costas, 2011, p.41)

1.13.1 Ventajas del uso de bandas transportadoras.

El uso del sistema de transporte basado en cintas transportadora constituye un método continuo y económico de desplazamiento de grandes volúmenes de material, de tal manera su disposición conlleva grandes ventajas en los procesos de producción y manufactura.

- Menor coste de mantenimiento y operación, mano de obra menos especializada.
- Mayor eficiencia energética.
- Capacidad de transporte independiente de la distancia.
- Por la constitución de la cinta su costo de construcción y mantenimiento disminuye.
- Mayor vida operativa.
- Menos sensible a inclemencia climáticas.
- Menos emisión de ruido y polvo.

Su disposición requiere planificación, genera mayores inversiones iniciales y en caso de producciones en serie se debe disponer de varias estaciones transportadoras.(López, 1991, p.283)

1.13.2 Partes de una banda transportadora.

La unión de ciertos elementos teniendo presente sus características constituyen una banda transportadora, en la figura 35- 1 se muestra las partes más importantes:

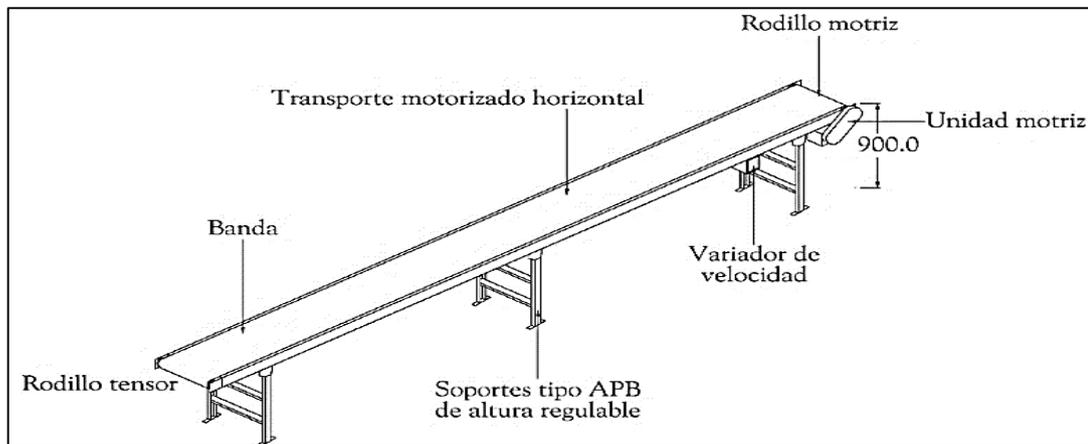


Figura 35- 1: Partes de una banda transportadora.

Fuente:(Comesaña Costas, 2011)

- Banda: Elemento formado por 3 o 4 pliegues de tejido generalmente polímeros, entre 2 capas de goma para protección.
- Estructura: sostiene todos los componentes de la banda y el material, de constitución rígida y resistente a vibraciones, peso y condiciones ambientales. Su constitución puede ser de perfiles, chapa plegada, tubos y demás materiales resistentes, puede presentar una cubierta cerrada para protección y bandas de seguridad para evitar la caída de la materia transportada.
- Rodillos: se montan a intervalos regulares generalmente su función, están constituidos es de transmisión de movimiento a la banda, están constituidos de acero de fundición o materia plástica, su diámetro es determinado a la aplicación.
- Unidad motriz: por medio de rotación arrastra a la banda, generalmente son motores reductores para trasmisión de fuerza, evitando trabas en el mecanismo debido a sobrepeso, es necesario usar motores dependiendo al peso máximo de carga aplicada.

Dependiendo a la aplicación y al tipo de materia se dispondrán de más partes para el funcionamiento óptimo del sistema de transporte. (Rodríguez, 2008)

1.14 Sistema de tapado

Constituye un sistema conformado por dispositivos neumáticos, eléctricos trabajan en conjunto con el sistema de transporte, su capacidad de operación depende del tipo de control requerido y den ser implementados según las especificaciones de los embaces, la robustez del sistema depende de la complejidad de la colocación de la tapa, existen sistemas de control especializados para dichos procesos o también puede realizarse con un roscador neumático, su complejidad depende de la precisión requería el proceso, es factible implementar técnicas de visión artificial.

1.14.1 Tipos de tapado de botellas.

Después de la etapa de dosificado es necesario garantizar la integridad del contenido del embace, es por tal monito la necesidad de tapar el embace para su posterior empaçado, existen ciertos mecanismos de tapado de embaces:

- **Tapado mecánico:** los embaces son sujetos para proteger el contenido contra giro, el tapón es colocado por un mecanismo de presión y lo enrosca al mismo tiempo al cuello de la botella.
- **Tapado electrónico:** se evita la torsión indeseada, se coloca el tapón a presión sobre el embace por medio de servomotores.
- **Tapado a presión:** consta de un cilindro de doble efecto, encargado de taponar el envase y presenta electroválvulas para regular el flujo de aire de entrada y salida.
- **Tapado neumático:** posee un control de torque para controla la potencia de roscado, por medio de una boquilla detecta la y enrosca automáticamente.

1.14.2 Partes de un sistema de tapado.

La presencia de ciertos dispositivos constituye el sistema de tapado, el medio de enrosque mecánico, eléctrico y neumático, así como aparatos mecánicos para soporte y mecanismos de agarre, consolidad dicho proceso, un sistema de tapado de envases debe tener presente un sujetador de, enroscado, y sistema de alimentación de aire, las partes más importantes se muestran en la figura 36- 1. (Centeno, 2015, p.6)

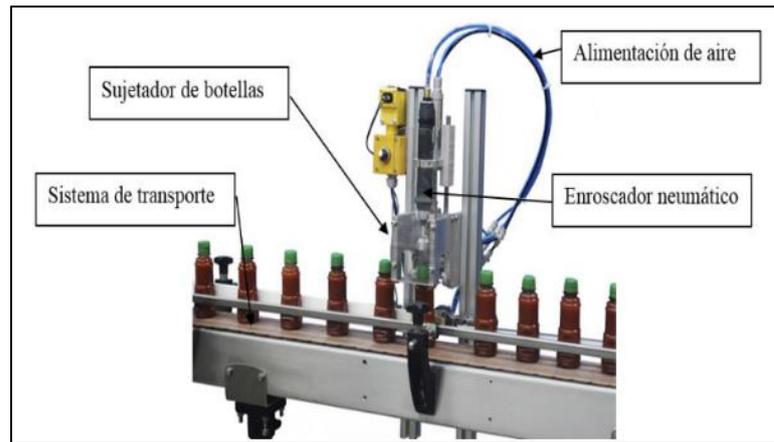


Figura 36- 1: Máquina de tapado.

Fuente: <https://bit.ly/2YzSS4H>

1.15 Sistema de paletizado

Un sistema de palatización consiste en agrupar sobre una superficie una cierta cantidad de productos, con el propósito de conformar una serie de unidades ordenadas con mínimo esfuerzo de almacenamiento y transporte, es considerada la mejor práctica de proceso logístico, permitiendo mejor desempeño sobre actividades de movimiento, carga, almacenamiento y despliegue de productos, en la actualidad son usados mecanismos de transporte que facilitan la etapa de palatización, el uso de sistemas basados en brazos robóticos para organizar productos conforman un nuevo campo de la automatización de procesos industriales. (Lu, Kim, Wu, Li, & Du, 2015, p.31)

1.15.1 Tipos de sistemas de paletizado.

Los sistemas más comunes de palatización empleados en la actualidad se basan en procesos mecánicos y robotizados:

- **Sistema de paletizado mecánico:**
Consiste en una máquina en particular realizando tareas en altas velocidades con cargas relativas, básicamente es la acumulación de cajas sobre palet, mediante empujadores, transportadores de rodillos y pinzas de agarre,
- **Sistema de palatización robotizado:**
Se emplea mediante el uso de un sistema robotizado diseñado para palatizar productos en una línea de producción, el robot consta de pinzas de agarre diseñadas según la aplicación, recoge productos y los almacena sobre palet, se trata de un sistema más rápido y sencillo a nivel de funcionalidad.



Figura 37- 1: Sistema de paletizado de botellas por brazo robótico.

Fuente: <https://bit.ly/2YRw1MY>

1.15.2 Beneficios de la palatización.

La aplicación de un sistema de gestión en los procesos industriales contribuye en gran medida al proceso de producción en industrial, los principales beneficios presentes por la implementación del sistema son:

- Los tiempos de carga y preparación disminuyen.
- Reducción de costo de máquinas de carga y descarga
- Disminuye contacto con el producto.
- Optimización de superficie de trabajo y espacio de almacenamiento.
- Disminución en averías de producto por manipulación.
- Seguridad del personal.

1.15.3 Aplicaciones del sistema de paletizado.

Si bien en la industria dicho sistema es ampliamente utilizado, siempre se puede aplicar a pequeños procesos, siendo las principales aplicaciones las siguientes:(V. García, 2013)

- Paletizado de cartones de huevos
- Línea doble de precintado y paletizado de cajas.
- Encajado en línea de palatización de azúcar.
- Paletizado de cajas de futas, verduras y hortalizas.
- Paletizado de cerámica.
- Paletizado de piezas metálicas.
- Paletizado de envases plásticos y de vidrio.
- Paletizado de productos farmacéuticos.
- Paletizado de cajas en línea de producción de botellas.

CAPITULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo busca implementar un sistema automatización con HMI/SCADA, para los procesos de mezclado de líquidos, dosificación, transporte, tapado y paletizado, también el almacenamiento y visualización de datos de los dispositivos empleados en cada etapa del sistema. Los resultados obtenidos se reflejarán en un módulo con dispositivos de campo y PLCs con capacidad de comunicar y controlar las distintas etapas de producción para el embotellamiento de líquidos, adquisición y transferencia de datos, simulación del funcionamiento del proceso con base a la industria mediante gráficas y simulaciones en pantalla digital (HMI), el funcionamiento del sistema scada seguirá la misma secuencia de sistematización de la figura 38-2 , el sistema SCADA a implementar permitirá controlar y, generar registros e históricos para las partes críticas del proceso de embotellado de líquidos. También constará la información de los sensores utilizados y se visualizará, presentará indicadores para señales discretas otorgadas por los equipos instalados como motores y cilindros, dichas señales serian contactos auxiliares y sensores instalados en dichos equipos.

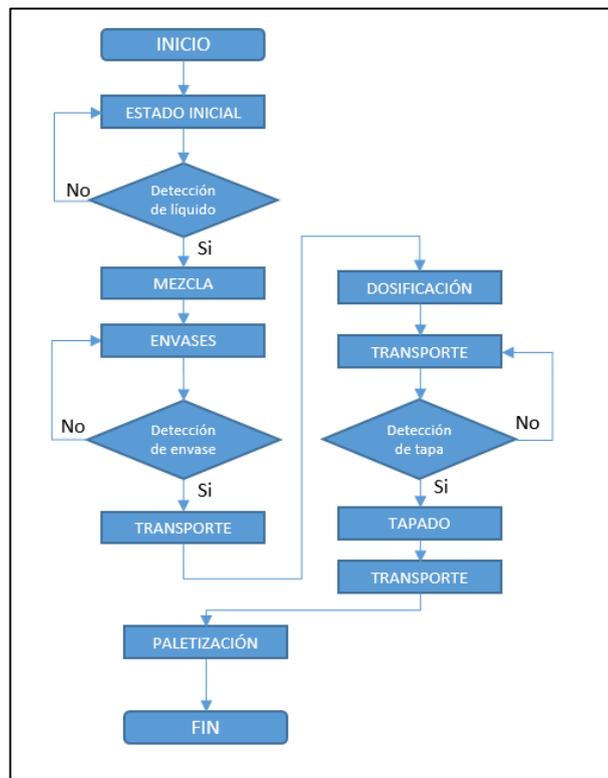


Figura 38- 2: Diagrama de flujo del proceso.

Realizado por: Chiluisa, 2019

2.1 Investigación

El presente trabajo es de investigación explicativa, trata de la aplicación de conocimientos y tecnologías para la solución del problema específico en un tiempo corto para el sector industrial como es el caso del módulo de mezclado y embotellado, permitiendo mantener una relación directa entre campo académico y el sector productivo, pues busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos.

De los resultados de una investigación técnica, se generarán ideas para mejorar el proceso de embotellado de líquidos, se procederá a la puesta en práctica mediante diseños adecuados según los requerimientos de implementación de un sistema HMI-SCADA.

2.1.1 Tipo de metodología.

- El método sintético es la herramienta más utilizada, que nos permite por medio del análisis estructurar las etapas del proceso hasta completar un sistema, con esto podemos encontrar la alternativa al problema planteado junto con estudios previos.
- Intervención, prospectivo, longitudinal (variable tiempo) (Avila, 2006, p.44)

2.1.2 Niveles de investigación

- Explicativa.
- Validación de instrumentos.

2.1.3 Alcance de la investigación

El alcance de la investigación se formula en base a la automatización de los procesos de control, ya que por el alto costo de los materiales utilizados la mayoría de las industrias no incorporan dicha automatización, pero se debe tomar en cuenta que la mencionada implementación tiene la ventaja de disminuir los costes de fabricación y aumentar los tiempos de fabricación de productos.

Pretendiendo alcanzar correccionalmente con este proyecto el conocimiento de las ventajas que la automatización de los procesos con hmi-scada para el control de embotellado de líquidos es beneficiosa para las industrias, medianas y pequeñas empresas que se dedican a adquirir sus productos por otros procesos ajenos al mencionado, ya que a largo plazo serán más altas las ganancias por la disminución de costes de fabricación y el aumento de productos producidos.

2.1.4 Limitaciones

Debido a que es un proyecto que se va a realizar para el laboratorio de automatización debemos tener en cuenta los lineamientos que tenga el laboratorio para el cumplimiento satisfactorio de los objetivos además de estar apegados a un horario restringido para poder desarrollar el proyecto.

Incluyendo como limitación del proyecto que el módulo se implementó con características para ser usada con fin educativo, ya que los volúmenes no son muy altos y que solo va a permitir el llenado de envase por envase, así mismo el líquido puede ser de cualquier variedad respetando la densidad de los líquidos a mezclar. La alimentación de materia de la etapa de mezclado se la hace manualmente supervisando los niveles de líquido contenido en los recipientes para que este tenga un nivel medio y pueda alimentar el proceso.

2.1.5 Modalidad de campo

Se aplicó investigación de campo para el levantamiento de información, análisis de resultados, comprobación, desarrollo de aplicaciones prácticas, métodos y conocimientos utilizados para dar solución al fenómeno de estudio, a la vez se averiguará las necesidades del diseño e implementación de un sistema SCADA para el proceso de embotellado de líquidos, en dicho tipo de investigación la mayoría del trabajo es realizado sobre el proceso y solo se utiliza un estudio documental para complementar los resultados obtenidos. (Muñoz, 1998, p.93)

2.1.6 Recolección de información

Por medio de observación directa sobre las etapas del proceso es posible obtener la información requerida en el proyecto, además de los datos entregados por las herramientas de campo permitiendo un mejor ambiente de trabajo y retroalimentación para mejorar el proceso de producción mediante la implementación del sistema HMI/SCADA.

2.2 Procesamiento y análisis de datos

2.2.1 Plan empleado para procesar la información recogida

Primero es necesario conocer y analizar la problemática sobre los procesos presentes en el sistema de embotellado, posteriormente se procederá a verificar posibles falencias dentro de cada proceso y se tomarán decisiones para solucionar los problemas presentados y mejorar las condiciones de trabajo de sistema.

2.2.2 Plan de análisis e interpretación de resultados

Los datos obtenidos en la recolección de información por parte de los instrumentos de campo ayudaran a dar nociones sobre los problemas a presentarse en los distintos procesos, se realizar un análisis para determinar su origen y los posibles factores para mejorar el diseño e implementación del sistema, el análisis de la información se realizará desde el punto de vista descriptivo ayudando a establecer conclusiones.

2.3 Problemática y selección de sistema SCADA

En la mayoría de industrias en desarrollo existen diversos problemas relacionados a ingeniería, la falta de procesos automatizados para entregar información precisa y relevante, así como la administración de personal y mejora de calidad de producción, en si varios motivos pueden afectar los procesos de manufactura de productos, la implementación de un sistema de recolección de datos, control, tratamiento y supervisión podría beneficiar en torno a mejora de calidad de producto, tiempo de producción, disminución de mermas, eficiencia energética y demás actividades en el proceso de manufactura. La gestión de toda la información, así como el control se realizarán por medio de un sistema HMI-SCADA especializado según las etapas de control del proceso de embotellado, solucionando los inconvenientes presentes en procesos de producción ineficientes, como lo muestra la figura 39- 2.

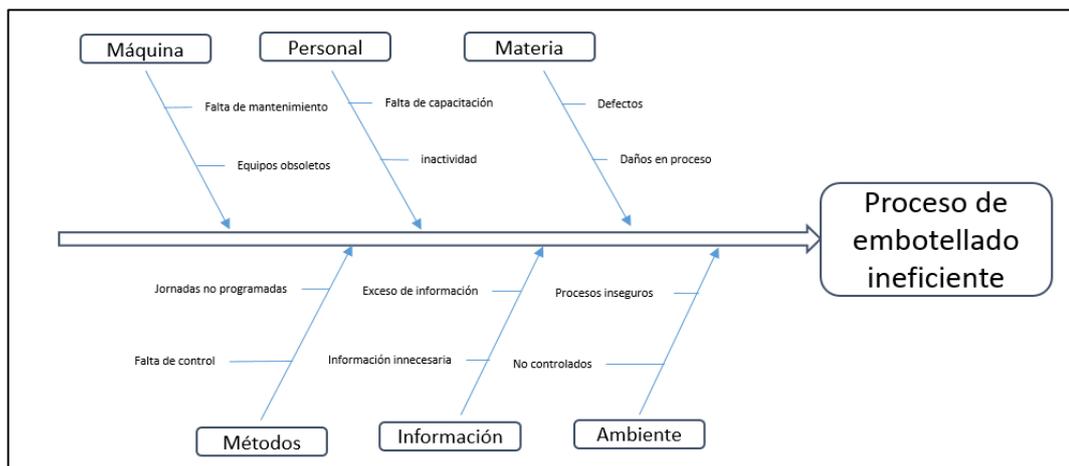


Figura 39- 2: Problemática de procesos de embotellado ineficientes.

Realizado por: Chiluisa, 2019

2.3.1 Diagnóstico para el diseño de un sistema SCADA

Para dar respuesta a las necesidades expuestas anteriormente, se plantea un requerimiento y diseño de un sistema SCADA, con tres niveles diferenciados.

- **Nivel de proceso o de campo:** compuesto por la instrumentación de campo (sensores y actuadores) y los elementos de proceso (recipientes, bombas de agua y motores).
- **Nivel de control:** Compuesto de unidades locales de control:
 - **PLC (SCHNEIDER):** En él se implementarán tanto funciones de lógica secuencial programada, como de regulación mediante variables de proceso.
- **Nivel de supervisión:** Aplicación SCADA, implementada mediante el software industrial LOOKOUT.

Así pues, el objetivo general consiste en la implementación de un sistema automatizado con control HMI-SCADA, y se traduce a una serie de generalidades.

- Revisión y puesta a punto de instrumentación de campo y elementos de proceso:
 - Revisión y calibración de sensores.
 - Revisión, ajuste y determinación de funcionamiento de actuadores.
 - Revisión del cableado de las señales de control analógicas.
 - Mejoras en algunos elementos de proceso (sistema de tapado y proceso de dosificación).
- Creación de un sistema de control:
 - Implementación de un proyecto en SOMACHINE para la programación y configuración del plc.
 - Configuración y sintonía de los reguladores.
- Creación de un sistema de supervisión.
 - Creación de un HMI para ver estado de funcionalidad.
 - Implementación de comunicación modbus PLC- Lookaout.
 - Configuración opc y enlaces PC-PLC.

2.4 Análisis del estado técnico del equipo por etapas

Se define como el estado que presentan las condiciones físicas y tecnológicas de un equipo en un instante dado.

El estado técnico se lo puede determinar con un simple cálculo y algo de experiencia.

Para determinarlo hay que seguir los siguientes pasos:

- 1 determinar el equipo a ser evaluado
- 2 hacer una lista de aspectos a ser evaluados
- 3 calificar los aspectos como bueno, regular, malo y muy malo
- 4 sumar cada serie de aspectos, asignando valores:

Bueno-----→ 1,00

Regular-----→ 0,80

Malo-----→ 0,60

Muy malo-----→ 0,40

5 sacamos un promedio de los valores obtenidos, y los dividimos por 100 para obtener un porcentaje que lo comparamos con la tabla 3- 2:

Tabla 3- 2: Matriz de porcentajes estado técnico.

ESTADO TÉCNICO	ESTADO	SERVICIO DE MANTENIMIENTO
90-100	Bueno	Revisión
80-89	Regular	Reparación pequeña
70-79	Malo	Reparación media
< 69	Muy malo	Reparación general

Realizado por: Chiluisa, 2019

El estudio sobre el proceso embotellado de líquidos se realizó con el objetivo de poder implementar un sistema automatizado con control hmi-scada para el proceso de embotellado de líquido, ofreciendo disminuir costes de fabricación y tiempos de producción con sistemas de control automatizados.

Por tal motivo se ha realizado varios análisis como son el mecánico, eléctrico, control y funcional.

2.4.1 Estado de la etapa de mezclado

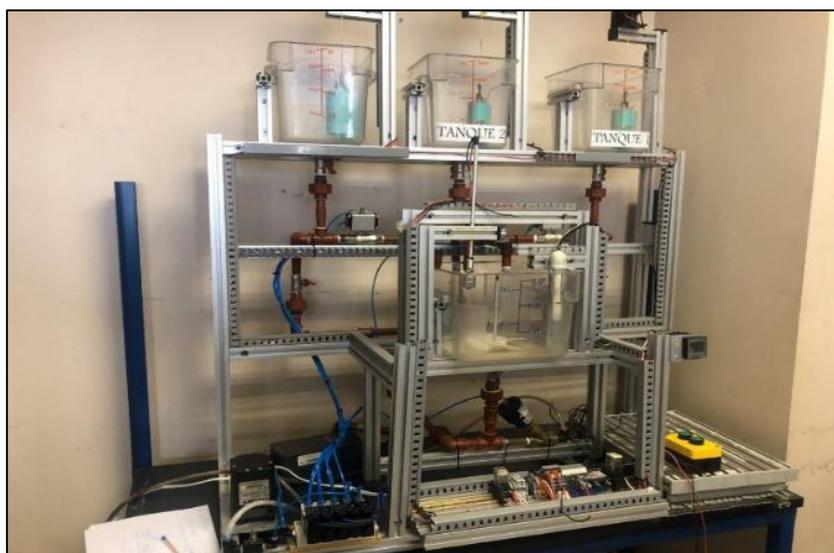


Figura 40- 2: Estado de la estructura

Realizado por: Chiluisa, 2019

Para esto primero destacaremos la lista de aspectos a ser evaluados en esta etapa:

- Estado del reservorio 8 L
- Estado del reservorio 12L
- Estado de las válvulas Omac Tipe DA8
- Estado de las electroválvulas
- Estado de la bomba de agua
- Estado del Mixer
- Estado de la Tubería
- Estado de la Estructura
- Estado de los Sensores de nivel
- Estructura mecánica
- Estado del cableado eléctrico
- Estado del control
- Estado funcional

A continuación, evaluamos cada uno de estos aspectos:

Tabla 4- 2: Estado de los materiales etapa de mezclado.

Cantidad	Estado de materiales	Estado
3	Reservorio 8 L	Bueno
1	Reservorio 12L	Bueno
4	Válvulas Omac Tipe DA8	Bueno
5	Electroválvulas	Bueno
1	Bomba de agua	Regular
1	Mixer	Malo
1	Tubería	Regular
1	Estructura	Bueno
4	Sensores de nivel	Regular
1	Estructura mecánica	Bueno
1	Estado del cableado eléctrico	Muy malo
1	Estado del control	Muy malo
1	Estado funcional	Muy malo

Realizado por: Chiluisa, 2019

Con esto como base sumamos los estados:

Tabla 5- 2: Suma de los estados etapa mezclado.

Bueno	6	*	1,00	=	6
Regular	3	*	0,80	=	2,4
Malo	1	*	0,60	=	0,6
Muy malo	3	*	0,40	=	1,2
TOTAL:					10,2

Realizado por: Chiluisa, 2019

Nos da un total de: 10,2.

10,2 dividimos para el numero de aspectos evaluados (son trece), nos dará como resultado 0,78.

A este valor lo multiplicamos por 100.

$$0,78 * 100 = 78\%$$

El estado técnico es **MALO** por lo que se procederá a una **REPARACIÓN MEDIA**.

2.4.2 Estado de la etapa de dosificado

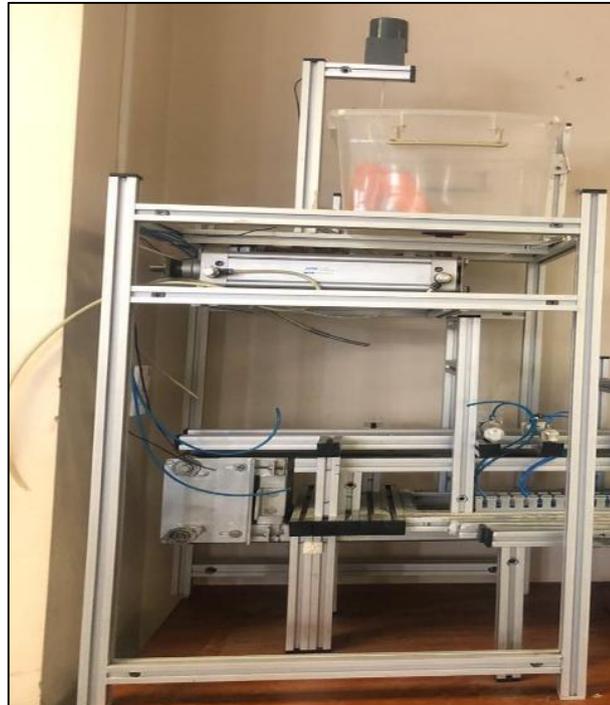


Figura 41- 2: Estado de la etapa de dosificado.

Realizado por: Chiluisa, 2019

Para esto primero destacaremos la lista de aspectos a ser evaluados en esta etapa:

- Estado del reservorio 12L
- Estado de los sensores de nivel
- Estado de los sensores magnéticos Aiqinuo N-03R
- Estado de los cilindros de doble efecto 27x40ml
- Estado de la estructura de aluminio
- Estado de las válvulas
- Estado de la estructura mecánica
- Estado del cableado eléctrico
- Estado del control
- Estado funcional

A continuación, evaluamos cada uno de estos aspectos:

Tabla 6- 2: Estado de materiales de la etapa de dosificado.

Cantidad	Estado del material	Estado
1	Reservorio 12L	Bueno
2	Sensores de nivel	Bueno
2	Sensores magnéticos Aiqinuo N-03R	Bueno
2	Cilindros de doble efecto 27x40ml	Bueno
1	Estructura de aluminio	Malo
2	Válvulas	Regular
1	Estructura mecánica	Muy malo
1	Estado del cableado eléctrico	Muy malo
1	Estado del control	Muy malo
1	Estado funcional	Muy malo

Realizado por: Chiluisa, 2019

Con esto como base sumamos los estados:

Tabla 7- 2: Suma de los estados etapa de dosificado.

Bueno	4	*	1,00	=	4
Regular	1	*	0,80	=	0,8
Malo	1	*	0,60	=	0,6
Muy malo	4	*	0,40	=	1,6
TOTAL:					7

Realizado por: Chiluisa, 2019

Nos da un total de: 7

7 dividimos para el numero de aspectos evaluados (son diez), nos dará como resultado 0,7.

A este valor lo multiplicamos por 100.

$$0,7 * 100 = 70\%$$

El estado técnico es **MALO** por lo que se procederá a una **REPARACIÓN MEDIA**.

2.4.3 Estado de la etapa de transporte



Figura 42- 2: Etapa de transporte.

Realizado por: Chiluisa, 2019

Primeramente, destacaremos la lista de aspectos a ser evaluados en esta etapa:

- Estado de la banda transportadora largo 1,5m x 20 cm ancho
- Estado de los cilindros Airtac estándar miniatura
- Estado de la estructura de aluminio
- Estado de la estructura mecánica
- Estado del estado del cableado eléctrico
- Estado del estado del control
- Estado del estado funcional

A continuación, evaluamos cada uno de estos aspectos:

Tabla 8- 2: Estado de materiales de la etapa de transporte.

Cantidad	Estado de los materiales	Estado
1	Banda transportadora largo 1,5m x 20 cm ancho	Malo
4	Cilindros Airtac estándar miniatura	Bueno

1	Estructura de aluminio	Malo
1	Estructura mecánica	Muy malo
1	Estado del cableado eléctrico	Muy malo
1	Estado del control	Muy malo
1	Estado funcional	Muy malo

Realizado por: Chiluisa, 2019

Con esto como base sumamos los estados:

Tabla 9- 2: Suma de los estados etapa de transporte.

Bueno	1	*	1,00	=	1
Regular	0	*	0,80	=	0
Malo	2	*	0,60	=	1,2
Muy malo	4	*	0,40	=	1,6
TOTAL:					3,8

Realizado por: Chiluisa, 2019

Nos da un total de: 3,8

3,8 dividimos para el numero de aspectos evaluados (son siete), nos dará como resultado 0,54.

A este valor lo multiplicamos por 100.

$$0,54 * 100 = 54\%$$

El estado técnico es **MUY MALO** por lo que se procederá a una **REPARACIÓN GENERAL**.

2.4.4 Estado de la etapa de tapado



Figura 7- 2: Etapa de tapado.

Realizado por: Chiluisa, 2019

Primeramente, destacaremos la lista de aspectos a ser evaluados en esta etapa:

- Estado de los cilindros Airtac miniatura
- Estado del Motor 12V
- Estado de la estructura de aluminio
- Estado de la estructura mecánica
- Estado del cableado eléctrico
- Estado del control
- Estado funcional

A continuación, evaluamos cada uno de estos aspectos:

Tabla 8- 2: Estado de los materiales etapa de tapado.

Cantidad	Estado de los materiales	Estado
2	Cilindros Airtac miniatura	Bueno
1	Motor 12V	Malo
1	Estructura de aluminio	Muy malo
1	Estructura mecánica	Muy malo
1	Estado del cableado eléctrico	Muy malo
1	Estado del control	Muy malo
1	Estado funcional	Muy malo

Realizado por: Chiluisa, 2019

Con esto como base sumamos los estados:

Tabla 9- 2: Suma de los estados etapa tapado.

Bueno	1	*	1,00	=	1
Regular	0	*	0,80	=	0
Malo	1	*	0,60	=	0,6
Muy malo	5	*	0,40	=	2
TOTAL:					3,6

Realizado por: Chiluisa, 2019

Nos da un total de: 3,6

3,6 dividimos para el numero de aspectos evaluados (son siete), nos dará como resultado 0,51.

A este valor lo multiplicamos por 100.

$$0,51 * 100 = 51\%$$

El estado técnico es **MUY MALO** por lo que se procederá a una **REPARACIÓN GENERAL**.

2.4.5 Etapa de paletizado

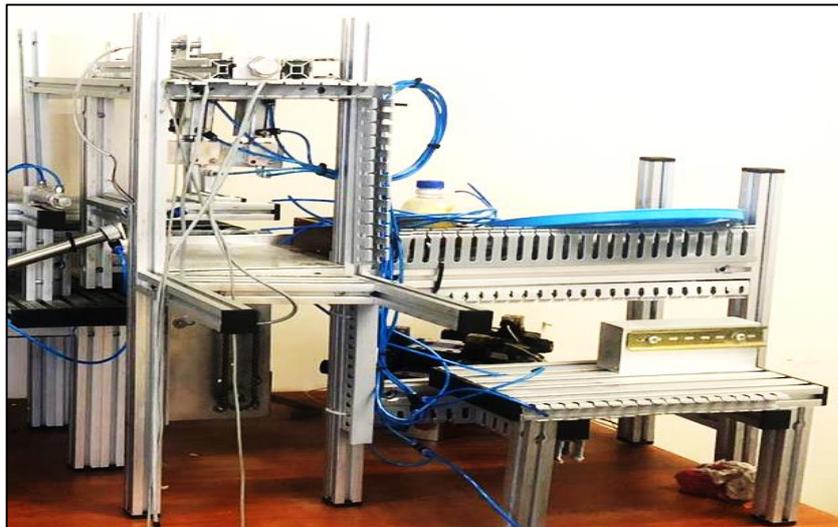


Figura 43- 2: Etapa de paletizado.

Realizado por: Chiluisa, 2019

Para esto primero destacaremos la lista de aspectos a ser evaluados en esta etapa:

- Estado de los cilindros doble efecto Airtac miniatura
- Estado del cilindro doble efecto Airtac Mic16x100S
- Estado de la estructura
- Estado de la estructura mecánica
- Estado del cableado eléctrico
- Estado del control
- Estado funcional

A continuación, evaluamos cada uno de estos aspectos:

Tabla 10- 2: Estado de los materiales etapa de paletizado.

Cantidad	Estado de los materiales	Estado
2	Cilindros doble efecto Airtac miniatura	Bueno
1	Cilindro doble efecto Airtac Mic16x100S	Bueno
1	Estructura	Regular
1	Estructura mecánica	Muy malo
1	Estado del cableado eléctrico	Muy malo
1	Estado del control	Muy malo
1	Estado funcional	Muy malo

Realizado por: Chiluisa, 2019

Con esto como base sumamos los estados:

Tabla 11- 2: Suma de los estados etapa de paletizado.

Bueno	2	*	1,00	=	2
Regular	1	*	0,80	=	0,8
Malo	0	*	0,60	=	0
Muy malo	4	*	0,40	=	1,6
TOTAL:					4,4

Realizado por: Chiluisa, 2019

Nos da un total de: 4,4

4,4 dividimos para el numero de aspectos evaluados (son siete), nos dará como resultado 0,63.

A este valor lo multiplicamos por 100.

$$0,63 * 100 = 63\%$$

El estado técnico es **MUY MALO** por lo que se procederá a una **REPARACIÓN GENERAL**.

2.4.6 *Análisis general del estudio técnico*

Para el análisis de este estudio se utilizó el rango de los porcentajes de la tabla 12- 2 adjuntada anteriormente.

Destacando que se tomó en cuenta los estados de cada etapa según su actividad:

- Mecánico
- Eléctrico
- Control
- Funcional

Tabla 12- 2: Análisis general del estado técnico de los materiales.

	Porcentaje	Estado
Etapa de mezclado	78%	Malo
Etapa de dosificado	70%	Malo
Etapa de transporte	54%	Muy malo
Etapa de tapado	51%	Muy malo
Etapa de Paletizado	63%	Muy malo
Promedio	63%	Muy malo

Realizado por: Chiluisa, 2019

Al analizar el estado de cada etapa según su actividad se obtiene un porcentaje general del sistema de embotellado de 63% que equivalente a muy malo, se llegó a la conclusión de que dicho sistema necesitaba una reparación general, ya que era incompleto en tanto a materiales y totalmente escaso en automatización. Tomando en cuenta que se necesitaba mejoramiento en los aspectos tanto mecánico, eléctrico y control para el correcto funcionamiento de este. Puesto que en todas las etapas obtenemos un promedio de muy malo con relación al funcionamiento.

2.5 Desarrollo del proyecto

Las distintas etapas del proceso de envasado de botellas presentan funciones para analizar, por tal motivo el desarrollo del proyecto se fijó en una serie de pasos guías como muestra el gráfico 44-2, cada paso presenta una serie de información relevante al funcionamiento del sistema.

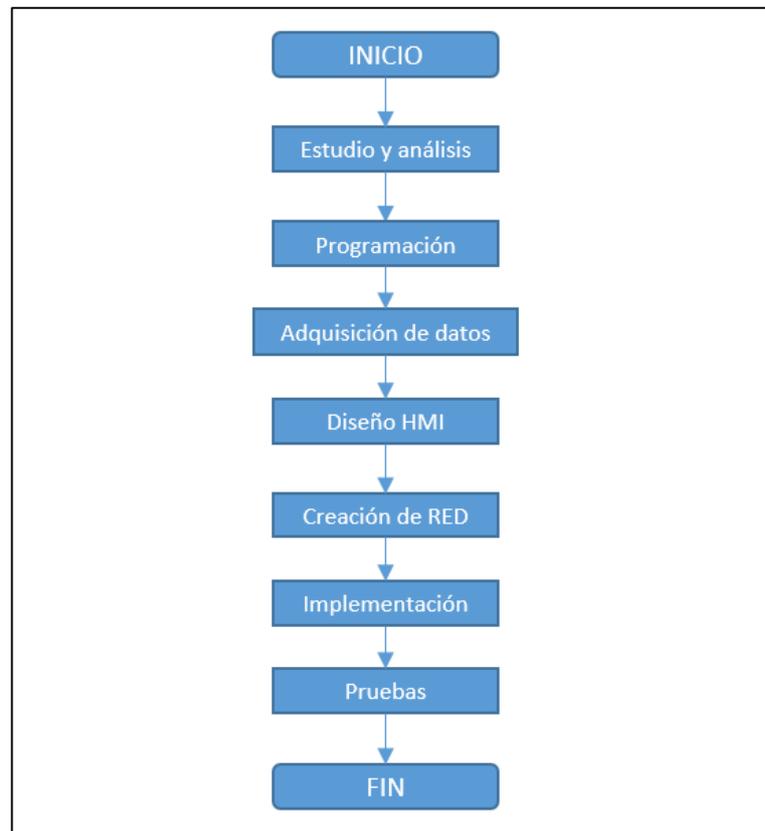


Figura 44- 2: Diagrama de flujo de desarrollo del proyecto.

Realizado por: Chiluisa, 2019

- Estudio y análisis de las variables, funcionalidades y requerimientos de cada etapa del proceso de embotellado de líquidos, obteniendo una idea clara del proceso a controlar y supervisar mediante el sistema HMI-SCADA

- Programación de las funcionalidades del sistema SCADA en cada uno de los PLCs involucrados en cada etapa del proceso en embotellado de líquidos, teniendo en cuenta la presencia de los dispositivos de campo, señales de alerta, disposición de información, tabla de entradas/salidas y almacenamiento de datos.
- Adquisición de datos de los dispositivos de campo, se debe comprobar la funcionalidad de cada dispositivo, así como el tiempo de reacción de los actuadores, se establecerán la información relevante de cada etapa del proceso de embotellado a ser mostrada en el HMI.
- Diseño y programación de cada etapa del proceso de embotellado a incorporar en el HMI, generar controles, cálculos, disposición de información, relación de entradas/salidas de cada PLC, operaciones de control y supervisión de cada etapa en tiempo real.
- Crear la red necesaria para la comunicación entre el PLC y la HMI.
- Implementación del sistema HMI-SCADA con SOMACHINE BASIC, cableado de cada etapa del proceso y constitución del tablero de control.
- Pruebas las cuales serán necesarias para la elaboración del informe final en base al diseño e implementación de un sistema SCADA y cómo ayudó a la optimización del proceso.

2.6 Selección general del tipo de embotelladora

Una vez establecidas las condiciones de funcionamiento a someter al sistema de embotellado de líquidos, hacemos la selección general del tipo de procesos a utilizar:

- Desplazamiento mediante riel movido por transmisión (motor).
- De una sola base de traslado con capacidad de una sola botella.
- De ciclo completo (mezclado, dosificado, transporte, tapado y dosificado).

2.6.1 Ventajas y características de la embotelladora

El sistema para implementar deberá cumplir con ciertos factores en su consolidación:

- Factor Económico.

- Menos costoso en comparación con otros sistemas automáticos de envasado en la industria.
 - Necesitan motores y sistemas eléctricos de baja potencia, lo cual reducen costos.
 - Incorporar dispositivos accesibles de costo moderado.
- Factor de Construcción.
 - De menor dificultad que otros tipos de envasado.
 - La tecnología de construcción debe estar presente en nuestro medio.
 - No necesita mecanismos complejos para su funcionamiento.
 - Distribución de redes eléctrica y de comunicación de forma óptima y deducida.
- Factor de Rendimiento.
 - De uso moderado.
 - Debe funcionar largas jornadas de trabajo sin alterar sus funciones
 - Fácil regulación de presión y caudales.
 - Permitir varias configuraciones de tiempos de llenado, velocidad de traslado, retraso y aceleración del proceso.
 - De Fácil Mantenimiento.
 - De fácil reparación en caso de falla.

2.6.2 Alcance de la investigación PYMES

En la actualidad en nuestro medio las PYMES que se dedican a los diferentes tipos de actividades de manufactura de productos, presentan un retraso tecnológico en su maquinaria, como es el caso del llenado de productos líquidos, una cantidad relativa de empresas medias y en la mayoría de las empresas pequeñas se nota un retraso tecnológico en el control de sus procesos, generalmente usando maquinaria y equipos inapropiados para realizar sus actividades. Tomando en cuenta la problemática de falta de sistemas automatizados para la industria de nuestro país, el presente trabajo pone al alcance un módulo de proceso de envasado de líquidos, de manera experimental puede realizar los procesos de mezcla de sustancias, se aplica el método experimental, permitiendo al investigador controlar las variables para delimitar relaciones entre ellas, recopilando datos para luego ser comparados con las mediciones de un grupo experimental para ello se puede utilizar variables dependientes como independientes. Bajo dichas consideraciones se diseña un sistema de envasado para líquidos comparable a sistemas implementados en grandes industrias, con el fin agregado de poder ser de utilizado como modulo

didáctico en enseñanza de sistema más de automatización para el control de procesos industriales.
(Palacio & Soriano, 2007, p.203)

2.7 Desarrollo del módulo didáctico

Se determina las partes requeridas para la constitución del módulo, dimensionamiento, capacidad de elementos y se describe previamente una lista de materiales para su funcionamiento.

2.7.1 Requerimientos del diseño mecánico

El sistema debe presentar ciertos componentes para poder realizar las funciones establecidas en las etapas de embotellados de líquidos, a continuación, se presentan:

- Reservorios (Etapa de mezclado).
- Tablero de control (para PLCs Schneider).
- Soporte o estructura para las etapas del sistema (Aluminio).
- Soportes de banda transportadora.
- Pistones neumáticos.
- Motor para sistema de transporte.
- Banda o cinta transportadora
- Válvulas.
- Sensores.

Algunos componentes deben operar sobre condiciones establecidas es el caso de los reservorios de líquidos y la banda transportadora, como se ve en la tabla 13- 2.

Tabla 13- 2: Requerimiento de componentes.

Requerimientos	Componentes
Capacidad 8 litros	Reservorio
Largo 1.5 (m) Ancho 20 (cm)	Banda transportadora

Realizado por: Chiluisa, 2019

El módulo didáctico en su composición deberá presentar las etapas de mezclado, dosificado, transporte, tapado y paletizado, constituyendo un sistema de embotellado para líquidos como se muestra en la figura 45- 2.

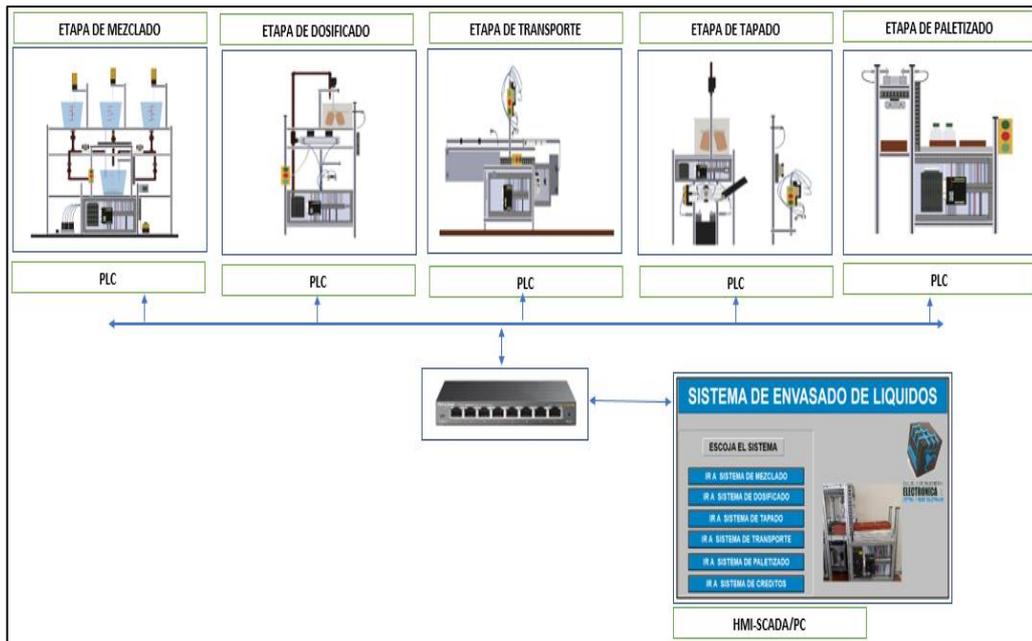


Figura 45- 2: Comunicación del proceso de embotellado de líquidos.

Realizado por: Chiluisa, 2019

2.8 Selección de componentes

El apartado de selección de materiales se hizo dependiendo a las especificaciones técnicas de funcionamiento de las distintas etapas del proceso de embotellado, la disposición de los tableros eléctricos presenta dispositivos de control, dispositivos de campo y ciertos elementos de protección, Los autómatas programables utilizados son los PLC Schneider TM221CE16T en la figura 46- 2 (a) de alta gama a ethernet, módulo combinado de 16 entrada digitales y 16 salida digitales así como también de 24 entrada digitales y 24 salida digitales tipo transistor, figura 46- 2(b), además de un número de entradas de 9/7 y de 14/10 los cuales nos servirán para poder conectar los distintos sensores y actuadores para monitoreo HMI.



Figura 46- 2: (a) PLCs Schneider TM221CE16T y (b) TM221CE24T.

Realizado por: Chiluisa, 2019

También cuenta de una fuente de alimentación de 5 Amp y 24 voltios para la alimentación de las entradas de los PLC y sus módulos, mostrada en la figura 47- 2, cada PLC tendrá protecciones además de sus entradas por transistor, mediante breaker térmicos.



Figura 47- 2: Fuente de alimentación para PLC.

Realizado por: Chiluisa, 2019

Todos estos elementos estarán sobrepuestos en rieles DIN de 35mm, se utilizaron rieles de 80 cm cada una en paralelas para la distribución de los demás elementos, sobre el riel de 80 cm están ubicadas las borneras, servirán como un canal de comunicación entre las entradas y salidas del PLC, evitando que se dañen los pines de contactos por la manipulación constante de los mismos, a su vez a las borneras llegan las señales de los sensores, actuadores, motores, etc. Para mayor estética a los cables se los hacen pasar por medio de canaletas de 33x33cm en el tablero de control

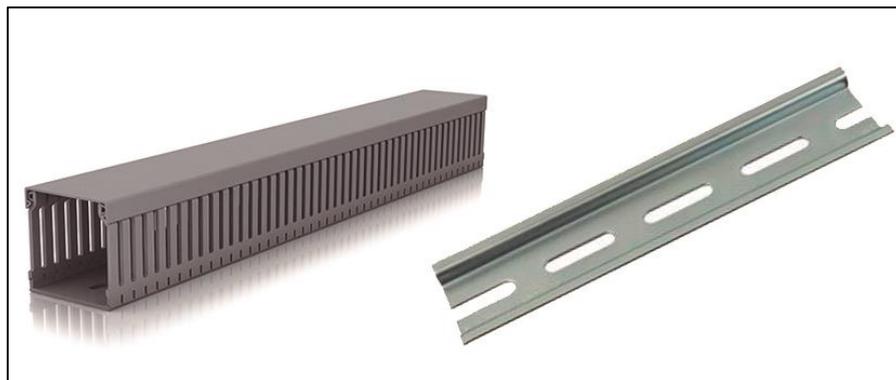


Figura 48- 2: Canaleta ranurada y riel DIN.

Realizado por: Chiluisa, 2019

El suministro de aire es transportado por mangueras de 16 mm², debido a la presencia de válvulas neumáticas para distribución de 5 vías y 2 posiciones (4v210-08), véase figura 2-5, las cuales trabajan a 12 VDC y por principio de activación de solenoide, dichos dispositivos tienen un

tiempo de respuesta de 0.05 segundos, presión máxima de 1.2 MPa y temperatura de trabajo de 5-50 °C.



Figura 49- 2: Válvula solenoide neumática 4V210-08.

Realizado por: Chiluisa, 2019

Los procesos tendrán sensores fotoeléctricos para detectar proximidad de objetos, así, poder determinar el inicio y termino de ciertos procesos, dichos dispositivos son sensores switch de proximidad NPN 3 hilos a un voltaje de operación de 6 a 36 VDC a 300Ma, como se muestra en la figura 50- 2, los sensores operan bajo el principio de corte de haz de luz, para el caso el objeto al atravesar la señal entre el emisor al receptor, se emitirá una señal de control.



Figura 50- 2: Sensor de proximidad fotoeléctrico.

Realizado por: Chiluisa, 2019

En la etapa de mezclado hay ciertos dispositivos encargados de llegar y expulsar el líquido de los envases, para tal actividad se eligieron bombas serie 9300 de 12-24 VDC, véase figura 51- 2, con un bombeo máximo de altura a 70 metros, con flujo máximo de 7 litro/minuto, con apertura para

tubo de 4 pulgadas, manguera de ½ pulgada y consumo máximo de 96 W, las bombas presentan buen rendimiento en tiempo de llenado y expulsión del líquido.



Figura 51- 2: Bomba para proceso de mezclado de líquidos.

Realizado por: Chiluisa, 2019

En la etapa de tapado y paletizado se utilizan cilindros de doble efecto para poder sostener y empujar los envases, así como un mecanismo de pinza para separar y embazar en empaques de 2 botellas.



Figura 52- 2: Pistón neumático.

Realizado por: Chiluisa, 2019

La etapa de transporte se basa en una cinta o banda transportadora, cuya fuente de movimiento es un motor trifásico, véase figura 53- 2, de 0.5 HP de fuerza 1.9 amp a baja tensión conexión 220 YY.



Figura 53- 2: Motor trifásico Siemens 0.5 HP

Realizado por: Chiluisa, 2019

La velocidad de movimiento de la banda debe ser regulable, para tal caso si dispone un variador de frecuencia, Lenze SMD para regular las revoluciones por minuto del motor, el dispositivo deberá ser configurado para satisfacer los requerimientos del motor, por tal motivo se debe tener especial atención en la placa de datos.



Figura 54- 2: Variador de frecuencia Lenze SMD.

Realizado por: Chiluisa, 2019

Controlador PID digital programable para controlar la velocidad del motor de mezclado en función a la temperatura de los fluidos de mezcla, se realiza la regulación de las revoluciones por minuto por medio del valor de temperatura, en todo caso los líquidos debe estar a cierta temperatura para poder mezclarse a una revolución determinada según el tipo de sustancias, el controlador debe disponer de un sensor de temperatura, cualquier termopila cuyas características sean las apropiadas para detectar temperatura en un rango de 0 a 120 °C, y un dispositivo de protección de control de potencia como es un relé de estado sólido conectado a la carga, en dicho caso el motor de mezcla.



Figura 55- 2: PID digital programable

Realizado por: Chiluisa, 2019

Los reservorios y el tanque central de mezclado regulan su llenado por medio de sensores de nivel de líquido, parando la bomba de llenado y cerrando las electroválvulas dispuestas en las tuberías del desfogue de los 3 tanques.

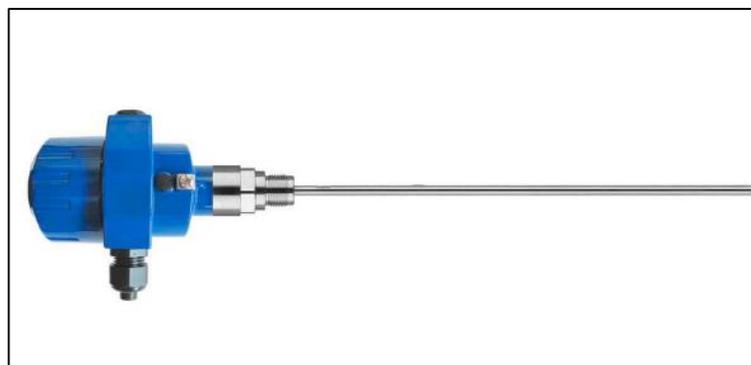


Figura 56- 2: Sensor de nivel de líquidos.

Realizado por: Chiluisa, 2019

2.9 Tableros eléctricos y dimensionamiento de cables.

Básicamente un tablero eléctrico es un gabinete o panel, fabricado de lámina de acero, para el caso, los dispositivos y gestión de cables se hacen sobre el módulo por motivos didácticos, el módulo cuenta con su debida protección y en sí, los dispositivos con cierto tipo de peligro cuentan con señalización, como es el caso de alto voltaje.

Los dispositivos de control, protección y señalización se encuentran montados sobre un panel, sujetos debidamente.



Figura 57- 2: Panel eléctrico de control.

Realizado por: Chiluisa, 2019

Para poder transmitir energía de forma eficiente es necesario dimensionar los conductores según el requerimiento de potencia de los dispositivos, dependiendo a su resistencia eléctrica el cable disipa en forma de calor una parte de la energía transportada, transformándose en consumo energético para costos operativos, se denomina dimensionamiento a aplicación de normas de cableado para instalaciones de dispositivos, las normas consideran sección nominal mínima del conductor, capacitancia de corriente en régimen permanente, caídas de tensión, protección contra cortocircuito y sobrecarga, dependiendo a las necesidades es la elección de conductor, para el caso, el trabajo se realiza bajo tensiones de 110 v y 24v.(Campos Aragón, 1997, p.147)

No resulta pertinente profundizar sobre dimensionamiento de conductores puesto que se trabaja a bajos voltajes, se eligió conductor awg 16 flexible para conexión de todos los dispositivos, según norma NCh Elec.4/2003, la disposición del cableado se realiza sobre canaletas ranuradas 14 x14.

El conductor no presenta protección contra campos electromagnéticos ni altas temperaturas debido al ambiente de trabajo, dependiendo al tipo de señal a transportar se selecciona el mejor

conductor, el color también es importante al momento de identificar los conductores es así, por norma NEMA/ANSI(Americana), cables de fase o positivo(negro, rojo, amarillo, azul), neutro o negativos(blanco o gris) y tierra (verde), según norma IEC(europea), cables de fase o positivo(marrón, negro o café), cables de neutro(azul) y cable de tierra (amarillo o verde). (Pérez García, 2014, p.366)

La conexión a los distintos terminales de dispositivos se realiza según el tipo de entrada, se selecciona terminales tipo A2 hasta A19.



Figura 58- 2: Dimensionamiento de cables.

Realizado por: Chiluisa, 2019

2.10 Descripción de etapas del proceso de embotellado

El sistema de embotellado en su constitución presenta 5 etapas, las cuales realizarán funciones distintas y en conjunto darán forma a un módulo didáctico para el proceso de embotellado de líquidos, dichas etapas se explican a continuación y siguen el orden del diagrama de flujo presentado en el grafico 59- 2.

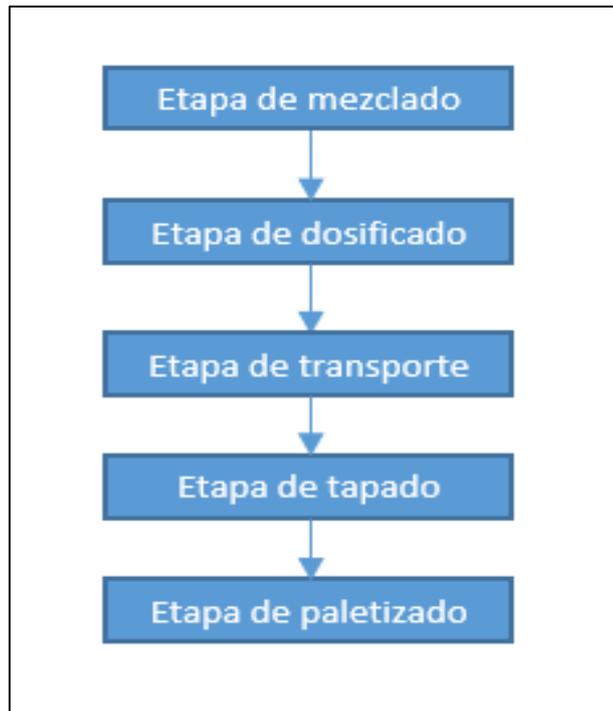


Figura 59- 2: Etapas del proceso de embotellado.

Realizado por: Chiluisa, 2019

Cabe señalar sobre la presencia del sistema de transporte en las etapas posteriores como tapado y sellado, también constan de bandas de transporte.

2.10.1 Etapa de mezclado

Dicha etapa corresponde desde el llenado de los reservorios hasta la salida de líquido previa a la etapa de dosificación, comienza llenando los 3 reservorios por medio de una bomba, los cuales presentan sensores de nivel de llenado, un reservorio central mezclara los líquidos de los 3 reservorios, la mezcla será debido al tipo de sustancia a mezclar, dicho proceso deberá ser programado según las propiedades de los líquidos a mezclar, una vez realizada la mezcla la sustancia resultante puede pasar a la siguiente etapa, se implementó un control PID analógico para regular las revoluciones por minuto de la bomba de mezclado, el proceso cuenta con un sensor de temperatura.

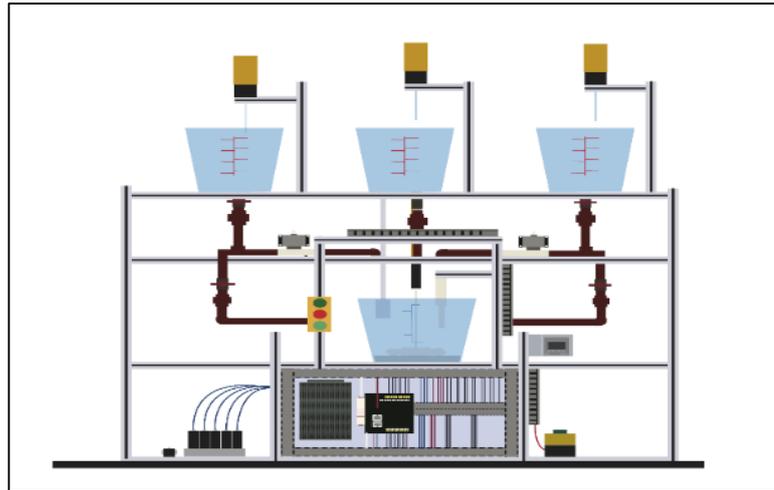


Figura 60- 2: Etapa de mezclado de líquidos.

Realizado por: Chiluisa, 2019

La disposición de las entradas y salidas de dicha etapa, se presentan en la tabla 14- 2, donde la letra S representa a los sensores y V a las válvulas.

Tabla 14- 2: Memorias, entradas y salidas etapa de mezclado.

MEMORIAS		ENTRADAS		SALIDAS	
%M1	V1_ON	% 10.0	ST1	%Q0.0	V1
%M2	V2_ON	% 10.1	ST2	%Q0.1	V2
%M3	V3_ON	% 10.2	ST3	%Q0.2	V3
%M4	MIXER_ON	% 10.3	STOP	%Q0.3	V
%M5	V_B_ON	% 10.4	STN4	%Q0.4	B
%M6	V_B_OFF	% 10.5	INICIO	%Q0.5	MIXER

Realizado por: Chiluisa, 2019

Cada una de dichas entradas y salidas influyen en el proceso según el diagrama de funcionamiento Grafcet, véase figura 61- 2, las ecuaciones de funcionamiento también son descritas en la figura.

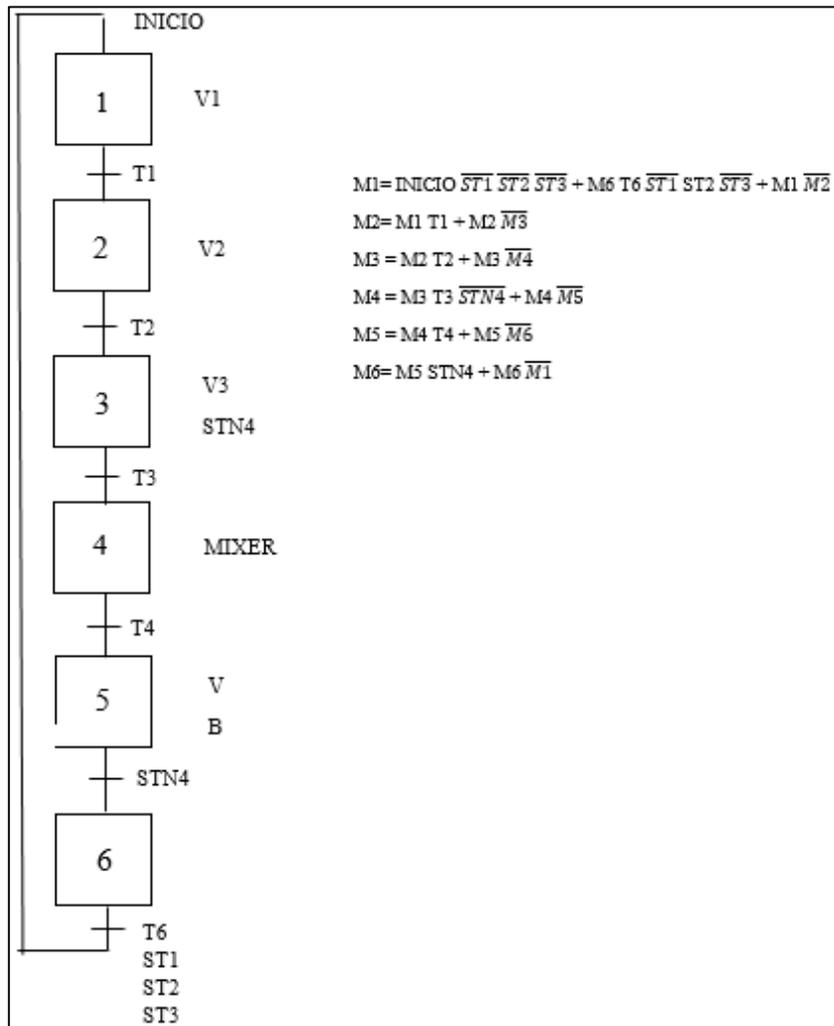


Figura 61- 2: Grafcet etapa de mezclado.

Realizado por: Chiluisa, 2019

2.10.2 Etapa de dosificado

Una vez dispuesto los embaces los sensores de proximidad los detectan para dar inicio con el proceso de dosificado de la sustancia mezclada, consta de una bomba conectada a la salida de líquido mezclado, con el fin de permitir según su activación, dosificar una cantidad determinada de líquido a los distintos envases, presenta cilindros neumáticos para gestionar la disposición de las botellas, y una vez llena podrá pasar a la siguiente etapa por medio de una banda transportadora, la etapa de dosificado se presenta en la figura 62- 2.

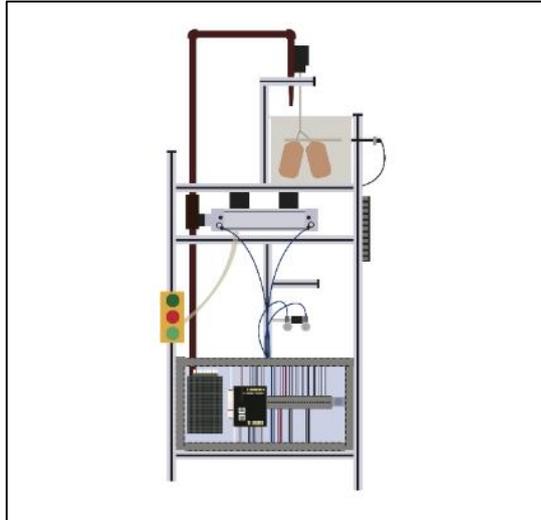


Figura 62- 2: Etapa de dosificación de líquido.

Realizado por: Chiluisa, 2019

La disposición de las entradas y salidas se muestra en la tabla

Tabla 15- 2: Memorias, entradas y salidas etapa de dosificado.

MEMORIAS		ENTRADAS		SALIDAS	
%M1	M1	% 10.1	FLOTADOR	%Q0.0	V1
%M2	M2	% 10.2	S2	%Q0.1	V2
%M3	M3	% 10.3	S1	%Q0.2	A
%M4	M4	% 10.4	INICIO		
		% 10.5	PARO		

Realizado por: Chiluisa, 2019

EL funcionamiento de dicha etapa esta provista por un diagrama Grafcet, véase figura 63- 2.

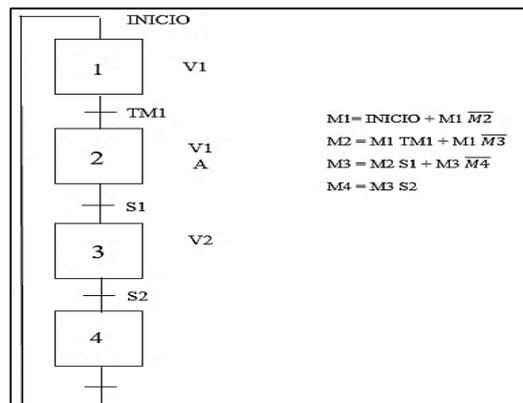


Figura 63- 2: Grafcet etapa de dosificado.

Realizado por: Chiluisa, 2019

2.10.3 Etapa de transporte

Dicha etapa se basa en una cinta o correa transportadora, la cual transfiere el movimiento provisto por un motor, la variación de la velocidad de tal dispositivo se da por medio de un variador de frecuencia, la etapa permite el traslado de los envases de la etapa de dosificado hasta la etapa de tapado, la velocidad deberá ser relativa al movimiento soportado por los envases para derrames de líquido, la línea de transporte presenta líneas guía para evitar la caída de los envases.

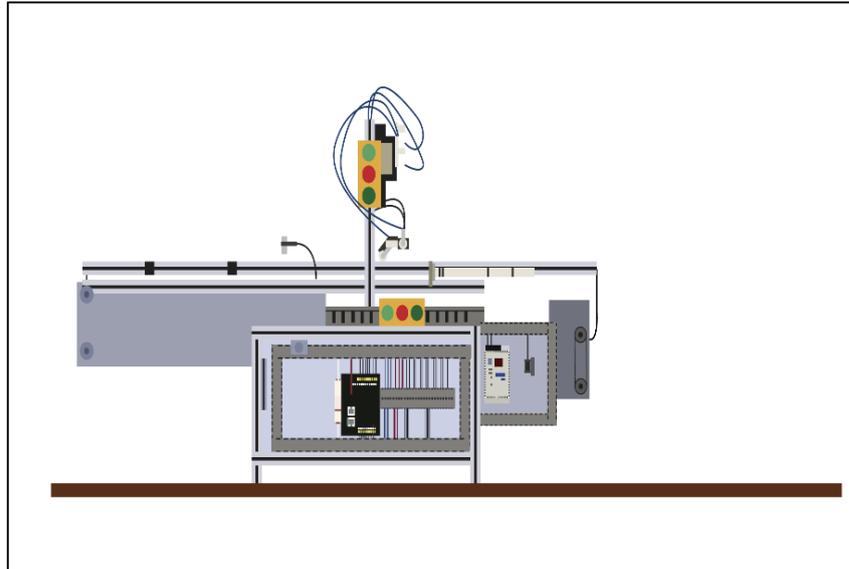


Figura 64- 2: Etapa de transporte.

Realizado por: Chiluisa, 2019

Tabla 16- 2: Memoria, entradas y salidas etapa de transporte.

MEMORIAS		ENTRADAS		SALIDAS	
%M1	M1	% 10.1	S2	%Q0.0	motor
%M2	M2	% 10.2	S1	%Q0.1	CD1
%M3	M3	% 10.3	star	%Q0.2	CD2
%M4	M4	% 10.4	stop	%Q0.3	CT1
%M5	M5			%Q0.4	CT2
%M11	M11			%Q0.5	
%M12	M12				
%M13	M13				

Realizado por: Chiluisa, 2019

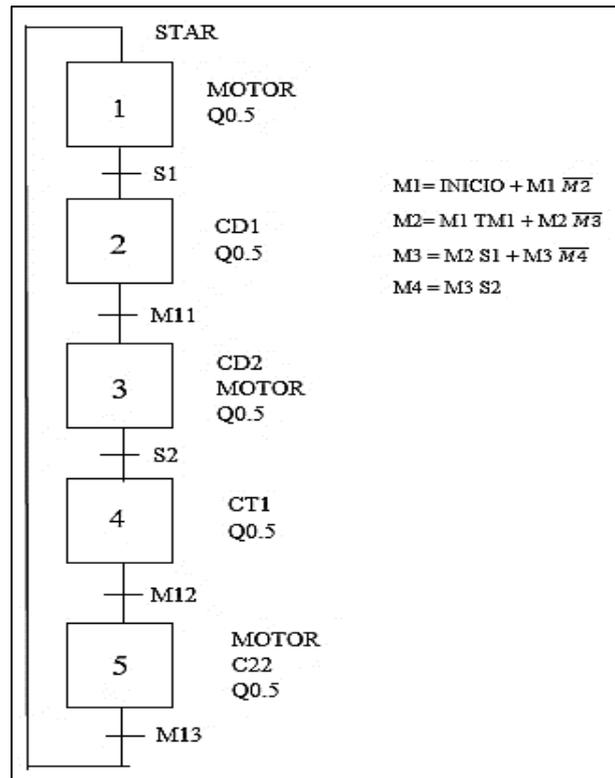


Figura 65- 2: Grafcet etapa de transporte

Realizado por: Chiluisa, 2019

2.10.4 Etapa de tapado

Se basa en un pistón neumático para colocar las tapas a presión sobre los cuellos de los envases, la banda transportadora funciona hasta la señal de detección de un sensor de proximidad, se activa un cilindro neumático para evita al envase continuar situarlo en una locación precisa para permitir al pistón actuar, al detectar la señal el pistón actúa y tapa el envase, una vez terminada la operación la banda continua y envía el envase a la siguiente etapa.

Tabla 17- 2: Memorias, entradas y salidas etapa de tapado.

MEMORIAS		ENTRADAS		SALIDAS	
%M1	M1	% 10.0	S1	%Q0.0	M_TAPAS
%M2	M2	% 10.1	INICIO	%Q0.1	VÁLVULA
%M3	M3	% 10.2	PARO	%Q0.2	LUZ
%M4	M4			%Q0.3	RELÉ
%M5	M5			%Q0.4	P_TAPAS
%M6	M6			%Q0.5	M_IZQUIERDA
				%Q0.6	M_DERECHA

Realizado por: Chiluisa, 2019

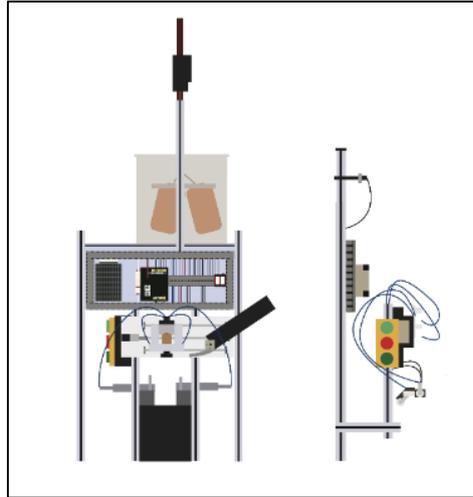


Figura 66- 2: Etapa de tapado.

Realizado por: Chiluisa, 2019

La etapa de tapado presenta un mecanismo basado en un tornillo sin fin con conexión a 3 relés a disposición de un motor con inversión de giro, dicha conexión se muestra en el anexo 1, el proceso funciona por 2 contactores para activar el motor en sentido horario y anti horario, cada uno con un temporizador a 10 segundos de funcionamiento, cuando acabe dicho tiempo se activa 1 contactor y otro temporizador independiente a la culminación de cada proceso de giro, los cuales tienen la función de tener 5 segundos apagado el motor para no producción fallos mecánicos al momento de cambiar de sentido de giro, cabe mencionar el inicio del funcionamiento se realiza por un pulsador, después el funcionamiento es autónomo hasta se detención por un botón de paro.

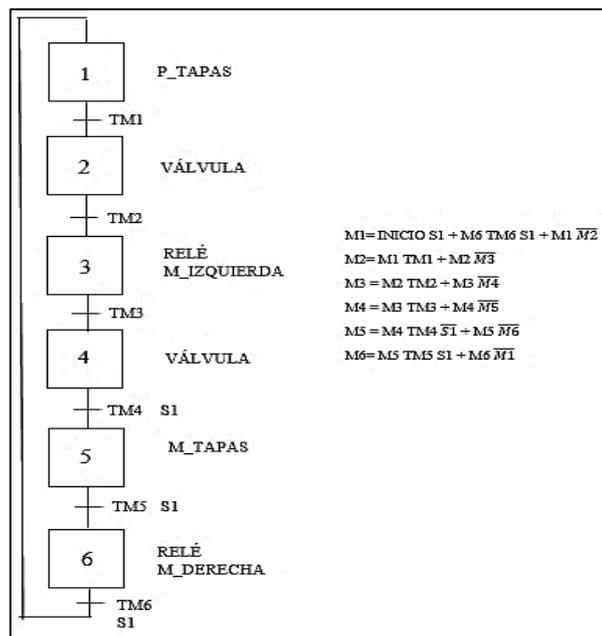


Figura 67- 2: Grafcet etapa de tapado.

Realizado por: Chiluisa, 2019

2.10.5 Etapa de paletizado

Se basa en el funcionamiento de 3 sensores de proximidad fotoeléctricos, los cuales permiten el ordenamiento de los envases en parejas para proceder al ser empacados, una pinza neumática coge el par de envases y los empaca.

Tabla 18- 2: Memorias, entradas y salidas etapa de paletizado

MEMORIAS		ENTRADAS		SALIDAS	
%M1	M1	% 10.0	A0	%Q0.0	Dejar botella java
%M2	M2	% 10.1	A2	%Q0.1	Recoger botella
%M3	M3	% 10.2	A1	%Q0.2	Subida bajada botella
%M4	M4	% 10.3	B0	%Q0.3	Sostener botella
%M5	M5	% 10.4	B1	%Q0.4	Empuje javo
%M6	M6	% 10.5	D0		
%M7	M7	% 10.6	INICIO		
%M8	M8	% 10.7	PARO		
%M9	M9	% 10.8	SB		
%M10	M10				
%M11	M11				
%M12	M12				
%M13	M13				
%M14	M14				
%M15	M15				
%M16	M16				
%M17	M17				
%M18	M18				
%M20	M20				
%M21	M21				
%M22	M22				

Realizado por: Chiluisa, 2019

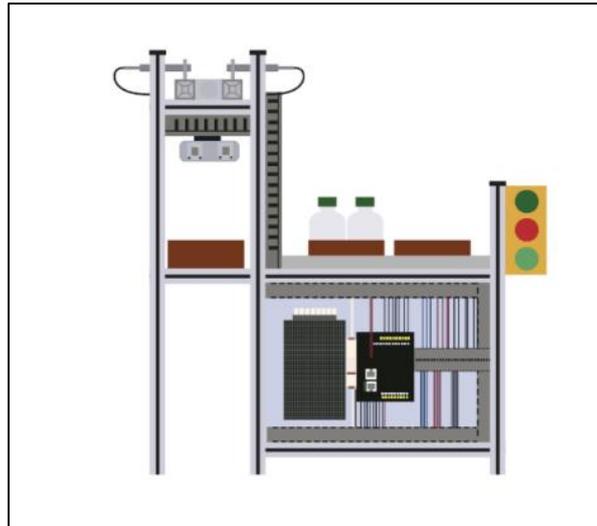


Figura 68- 2: Etapa de paletizado.

Realizado por: Chiluisa, 2019

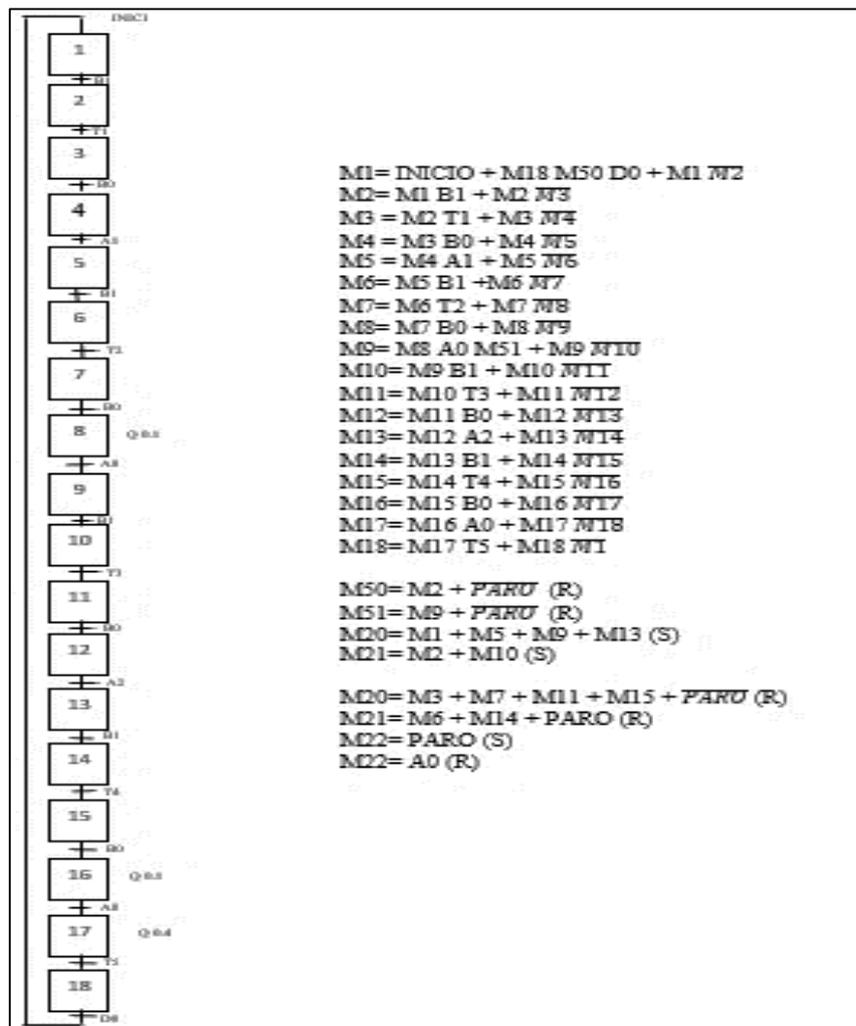


Figura 69- 2: Grafset de etapa de paletizado

Realizado por: Chiluisa, 2019

2.11 Dispositivos de campo del sistema de embotellado

El control de cada etapa del proceso de embotellado conlleva a la disposición de ciertos dispositivos de campo, la tabla 2-1 presenta y describe cada dispositivo a utilizar para la constitución del sistema.

Tabla 19- 2: Requerimientos del sistema de embotellado.

Requerimientos	Componente
Nivel: mide el nivel del líquido presente en un reservorio o tanque. Proximidad: Detecta presencia de los envases. Celda de carga: detecta el peso de los envases para mejor dosificado.	Sensores
HMI digital: para supervisar y controlar las etapas del proceso de embotellado. PLC Schneider: para cargar el programa de control de funcionalidades.	Elementos de control
Motor: para el movimiento de la banda transportadora. Válvulas proporcionales: para un dosificado exacto. Cilindros neumáticos: para mejor movimiento de los envases. Electroválvulas: para control de cilindros neumáticos.	Actuadores
Breaker: para evitar sobrecargas y proteger al sistema.	Protecciones
Estructura: tablero eléctrico y tuberías.	Módulos

Realizado por: Chiluisa, 2019

2.12 PLC TM221CE16T

Antes de disponer de la programación de los PLCs, es necesario entender su composición estructural y su forma de conexión, para el caso hacemos uso de los manuales de funcionamiento de los dispositivos o datasheet, lo importante es saber distinguir las funcionalidades, partes y la composición de los dispositivos para eso es necesario especificar ciertos criterios, por tratarse de un módulo experimental la disposición de las conexiones de dispositivos de campo puede modificarse, por tal motivo se debe especificar la forma de trabajar de los autómatas utilizados para facilitar el trabajo y adecuación de mejoras posteriores.

2.12.1 Partes del PLC TM221CE16T

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

- 9 entradas digitales.
 - 4 entradas rápidas (HSC).
 - 5 entradas normales.
 -
- 7 salidas digitales.
 - 2 salidas rápidas de transistor común positivo.
 - 5 salidas normales de transistor de común positivo.
- 2 entradas analógicas.
- Puertos de comunicación.
 - 1 puerto de línea serie.
 - 1 puerto de programación USB mini-B.
 - 1 puerto Ethernet.

Es necesario conocer los distintos componentes presentes en la estructura del autómata programable, como se muestra en la figura 70- 2.

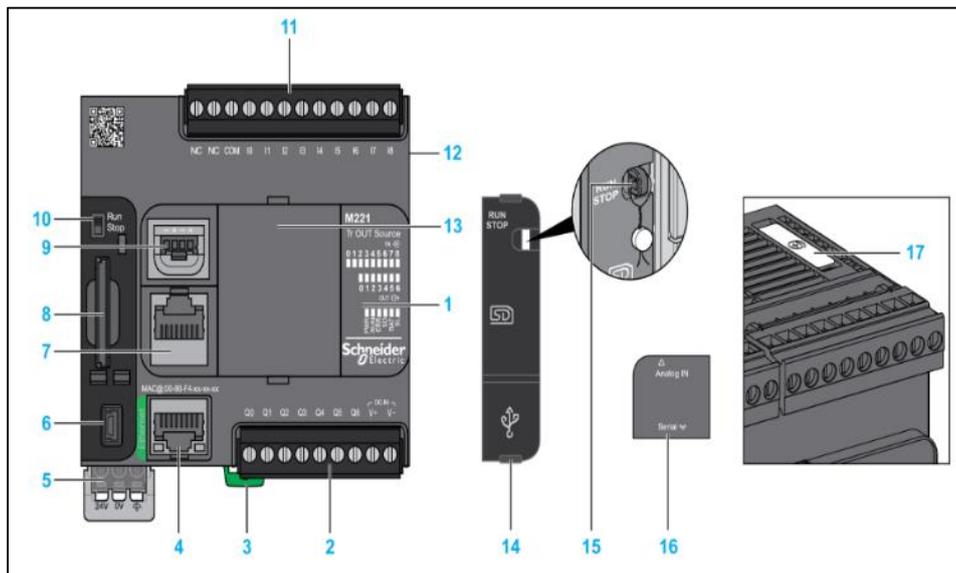


Figura 70- 2: Componentes del PLC TM221CE16T

Fuente: (Electric, 2018)

Al realizar la manipulación del cableado de los dispositivos conectados, es necesario comprender el funcionamiento operativo de cada componente es por tal motivo la especificación de las partes como se muestra en la tabla 2-3.

Tabla 20- 2: Descripción de componentes del PLC

Número	Descripción
1	Indicadores LED de estado.
2	Bloque de terminales extraíbles de la salida.
3	Carril DIN de cierre de clip para 35 mm.
4	Puerto Ethernet/conector RJ-45.
5	Fuente de alimentación de 24 VCC.
6	Puerto de programación USB mini-B/conexión a PC.
7	Puerto de línea serie 1/conector RJ-45 (RS-232 o RS-485).
8	Slot para tarjetas SD.
9	2 entradas analógicas.
10	Interruptor Run/Stop.
11	Bloque de terminales extraíbles de la entrada.
12	Conector de ampliación de E/S.
13	Slot para cartucho.
14	Cubierta de protección.
15	Gancho de sujeción.
16	Cubierta de entradas analógicas extraíble.
17	Soporte de la batería.

Fuente: (Electric, 2018)

2.12.2 Conexión de entradas y salidas.

El diagrama de conexión de las entradas es la manera correcta para disponer de una correcta unión de los dispositivos asociados como entradas y permitir la comprensión por parte del programa a implementar, la manera correcta de conectar se muestra en la figura 71- 2.

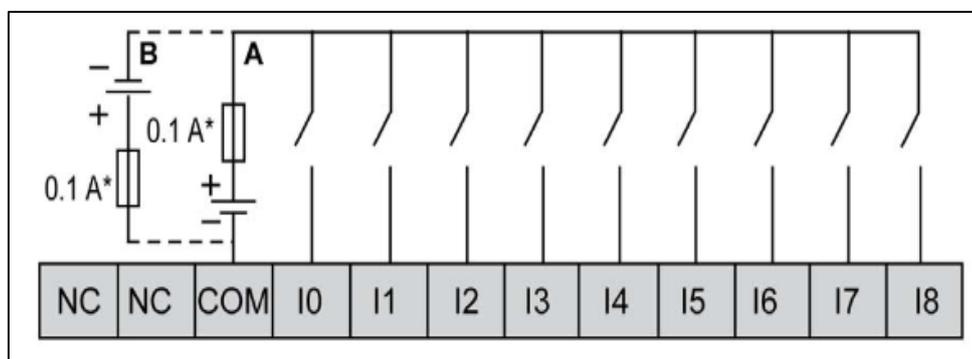


Figura 71- 2: Diagrama de cableado de entradas de TM221CE16T.

Fuente: (Electric, 2018)

El autómata programable presenta un fusible tipo T, el cableado puede seguir lógica común positiva o lógica común negativa (A o B) respectivamente, como advertencia no se debe conectar ningún cable a conexiones reservadas como NC, el incumplimiento de las instrucciones podría causar lesiones serias o daños al equipo. (Electric, 2018, p.249)

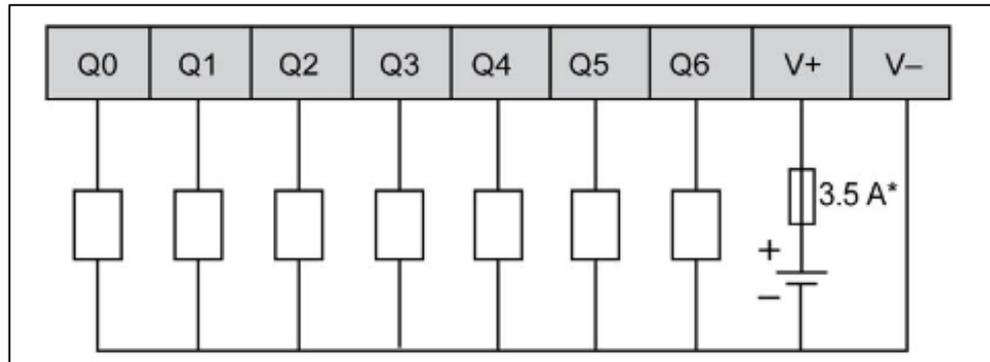


Figura 72- 2: Diagrama de cableado de salidas de TM221CE16T

Fuente: (Electric, 2018)

De igual manera presente un fusible de protección tipo T.

2.13 PLC TM221CE24T

De manera similar al PLC anterior, es necesario disponer del funcionamiento de sus componentes y saber identificar sus partes.

2.13.1 Partes del PLC TM221CE24T

Su composición presenta las siguientes funciones:

- 14 entradas digitales.
 - 4 entradas rápidas (HSC).
 - 10 entradas normales.
- 10 salidas digitales.
 - 2 salidas rápidas de transistor de común positivo.
 - 8 salidas normales de transistor de común positivo.
- 2 entradas analógicas.
- Puertos de comunicación.
 - 1 puerto de línea serie.
 - 1 puerto de programación USB mini-B.
 - 1 puerto Ethernet.

La figura 73- 2 muestras los componentes del autómata programable:

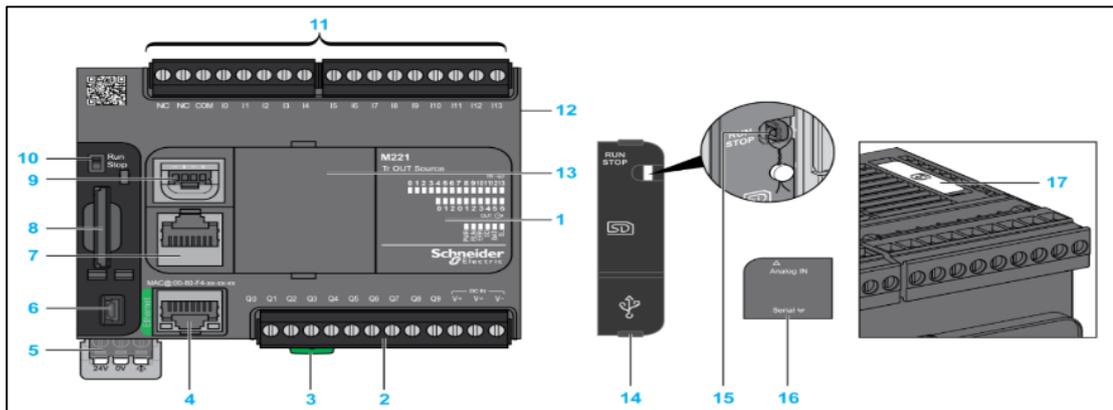


Figura 73- 2: Componentes del PLC TM221CE24T.

Fuente: (Electric, 2018)

2.13.2 Conexión de entradas y salidas.

La figura 74- 2 presenta la forma de conexión de las entradas al PLC:

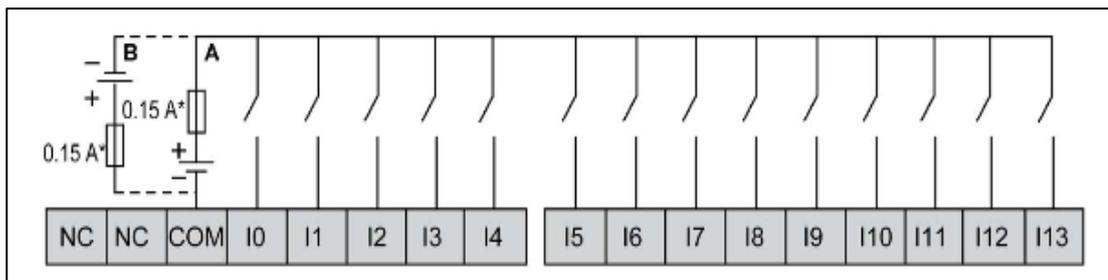


Figura 74- 2: Diagrama de cableado de salidas de TM221CE24T.

Fuente: (Electric, 2018)

Las entradas presentan protección con fusible tipo T, cableado de común positivo y negativo (A y B), en la figura 74- 2 se muestra las conexiones de las salidas a carga.

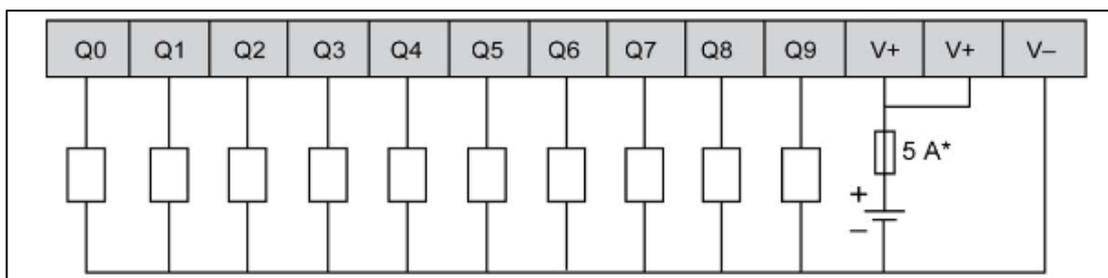


Figura 75- 2: Diagrama de conexión de salidas de TM221CE24T.

Fuente: (Electric, 2018)

Las salidas presentan protección de fusible tipo T y los terminas V+ están internamente conectado.

2.14 Indicadores Led de estado de los PLCs.

La manera de identificar el funcionamiento del PLC TM221CE16T es por los leds de estado, véase figura 76- 2.

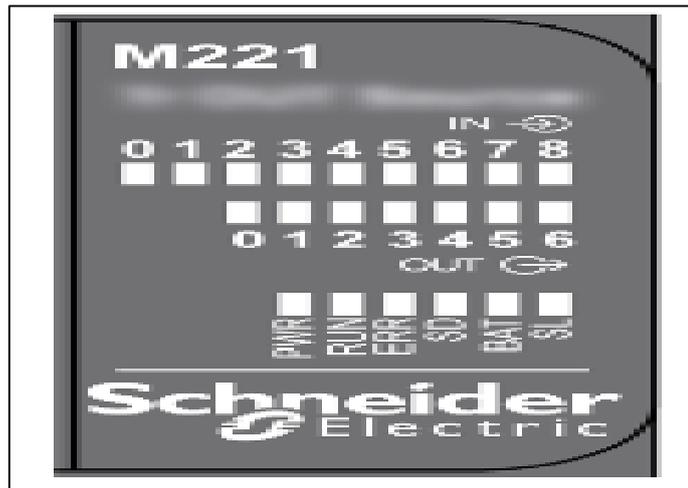


Figura 76- 2: Indicadores de estado de TM221CE16T.

Fuente: (Electric, 2018)

El PLC TM221CE24T presenta más leds indicadores como se muestra en la figura 77- 2, el aumento de indicadores está asociado a las características de constitución del dispositivo.

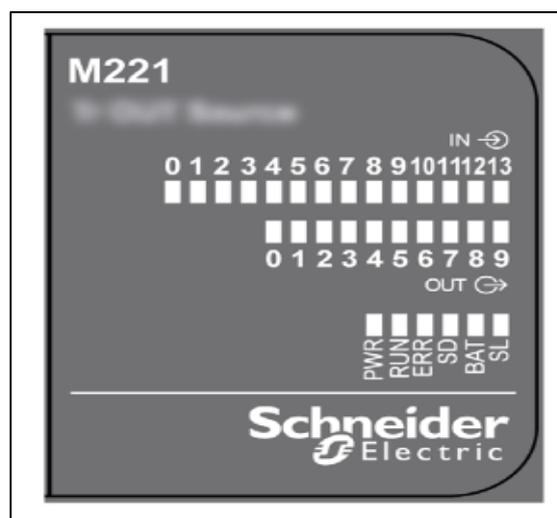


Figura 77- 2: Leds de estado del PLC.

Fuente: (Electric, 2018)

Cada led presente la parte frontal de los PLCs representa un estado y su descripción se puede ver en la tabla 21- 2, ambos PLC están constituidos de similares indicadores.

Tabla 21- 2: Descripción de indicadores Led de estado.

Etiqueta	Función	Color	Estado	Descripción		
				Estado del controlador	Comunicación del puerto Prg	Ejecución de aplicación
PWR	Alimentación	Verde	Activado	Recibe alimentación.		
			Desactivado	Sin alimentación.		
RUN	Estado	Verde	Activado	Controlador ejecuta aplicación.		
			Intermitente	Aplicación valida detenida.		
			Desactivado	Controlador no programado,		
ERR	Error	Rojo	Activado	Excepción	Restringido	No
			Intermitente	Error interno	Restringido	No
			Intermitencia lenta	Error menor detectado	Sí	Indicador Led estado Run
			Parpadeo simple	No hay aplicación	Sí	Sí
SD	Acceso a SD	Verde	Activado	Acceso a la tarjeta SD.		
			Intermitente	Error de utilización de la tarjeta SD.		
			Desactivado	No hay acceso o ninguna tarjeta SD.		
BAT	Batería	Rojo	Activado	Batería debe sustituirse.		
			Intermitente	Batería baja de carga.		
			Desactivado	Batería en buen estado.		
SL	Línea serie 1	Verde	Activado	Estado de la línea serie 1.		
			Intermitente	Actividad en la línea serie 1.		
			Desactivado	No existe comunicación serie.		

Fuente: (Electric, 2018)

Los estados descritos de los leds únicamente se diferenciarán en ambos PLCs por el número de entradas y salidas, en todo caso si se activa o desactiva una de las entradas o salidas, significa la presencia de voltaje o ausencia de este.

2.15 Diseño HMI – SCADA

Una vez definida la configuración de conexión de los PLCs a utilizar y sus diferencias, es posible proseguir con la etapa de programación, el programa o software a utilizar en SoMachine Basic, presentado por Schneider Electric como la herramienta estándar para configuración programática de sus PLCs, a continuación, se presenta el tratamiento del software para poder configurar los dispositivos. (Esaño, 2019, p.90)

2.15.1 SoMachine Basic

Es el software de programación provisto por Schneider Electric para sus autómatas programables, puede descargarse de manera gratuita desde su página web, permite la configuración y programación de los PLCs disponibles, para lo cual se debe seguir una serie de pasos.

2.15.1.1 Selección del PLC

Una vez abierto el programa, debemos seleccionar el modelo del PLC a utilizar. Abrimos la pestaña configuración y escogemos el modelo.

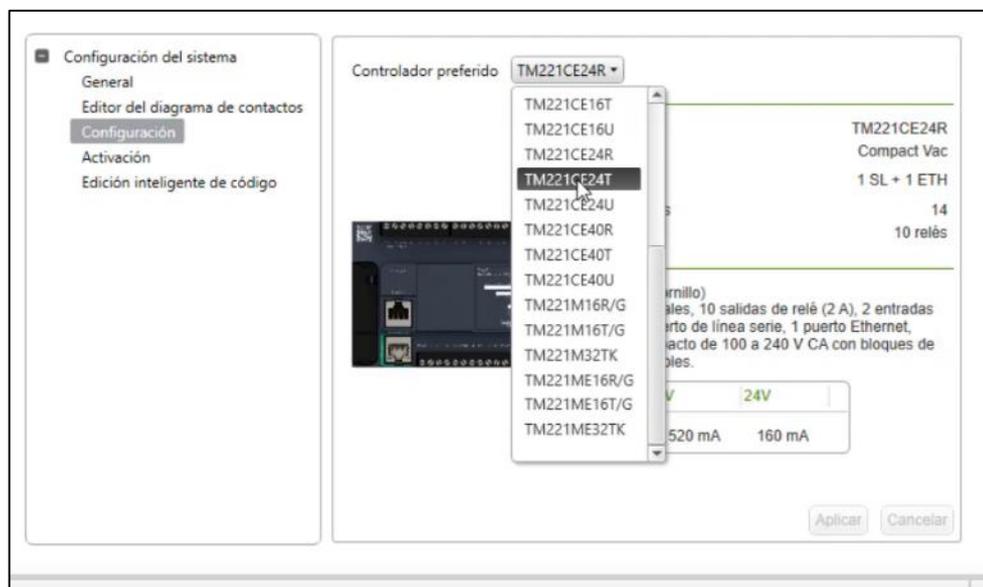


Figura 78- 2: Selección de PLC SoMachine Basic.

Fuente: Chiluisa, 2019.

2.15.1.2 Introducción a programación en SoMachine Basic.

Anteriormente se especificó las funciones y tipos de programación presentes, la programación de autómatas consiste en generar una tabla de direccionamiento para todos los componentes requeridos, generalmente están compuestas por E/S o por objetos de memoria, la descripción de cada objeto se debe realizar según la tabla 22- 2.

Tabla 22- 2: Objetos básico de programación.

Tipo de objeto	Objeto	Función del objeto	Descripción
Objeto de E/S	%I	Bit de entrada	Almacena valor de entrada digital.
Objeto de E/S	%Q	Bit de salida	Almacena valor de salida digital.
Objeto de memoria	%M	Bit de memoria	Almacena bit de memoria.
Objeto de sistema	%S13	Bit de sistema	Bi de primer ciclo en ejecución.

Fuente: (Saiz, 2019)

2.15.1.3 Programación Ladder entorno SoMachine Basic.

Al crear la aplicación, se debe asignar los objetos utilizados como E/S o dirección de memoria, según las variable asociadas al proceso se crea los contactos de entrada, salida y memorias, para tal caso se debe usar su correspondiente representación simbólica en el programa y crea el diagrama de contactos, no es pertinente del trabajo de titulación la enseñanza del programa pero si una explicación básica de cómo se programó en el software seleccionado, la figura 79- 2 muestra un diagrama simple de arranque, paro y paro de emergencia para un motor con enclavamiento, esquema también utilizado en dentro del funcionamiento del sistema de embotellado.



Figura 79- 2: Ejemplo de programación LD en SoMachine Basic.

Fuente: (Nuevo García, 2018)

2.15.1.4 Simulación de operación.

Una vez realizado el programa, podemos simular su funcionamiento mediante el programa,

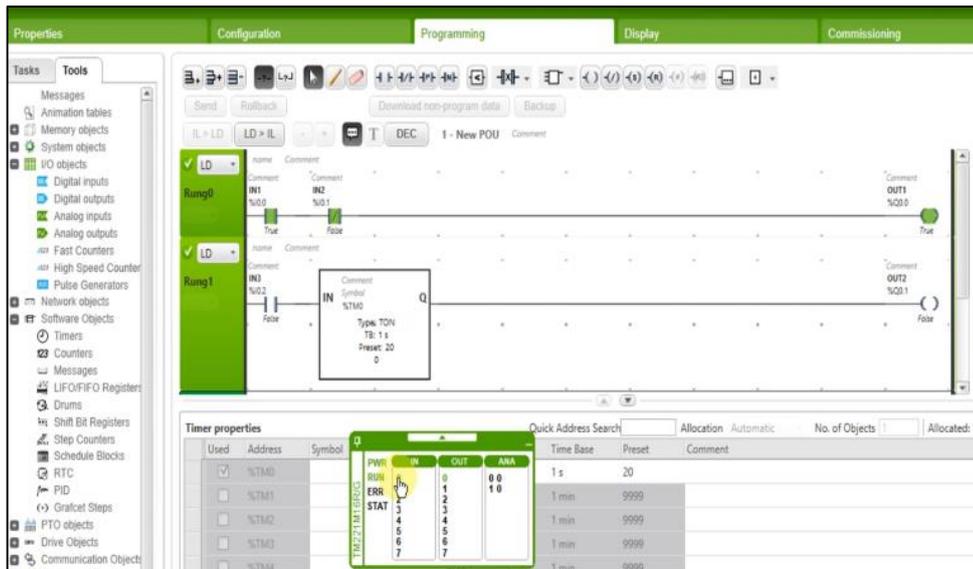


Figura 80- 2: Entorno de simulación SoMachine Basic.

Fuente: Chiluisa, 2019.

2.15.1.5 Direccionamiento de comunicación.

Para poder cargar los programas creados en los PLCs es necesario conocer su dirección IP, para esto configuramos el apartado de Ethernet en el programa de acuerdo con las especificaciones de red del dispositivo, como muestra la figura 81- 2.



Figura 81- 2: Configuración de Ethernet en SoMachine Basic.

Fuente: Chiluisa, 2019.

Una vez establecida la red de comunicación es posible cargar el programa diseñado o descargar algún programa presente en el dispositivo, en caso de no tener conexión es necesario determinar la IP y la máscara de red del PLC, la figura 82- 2 muestra cómo se debe realizar dicha operación.

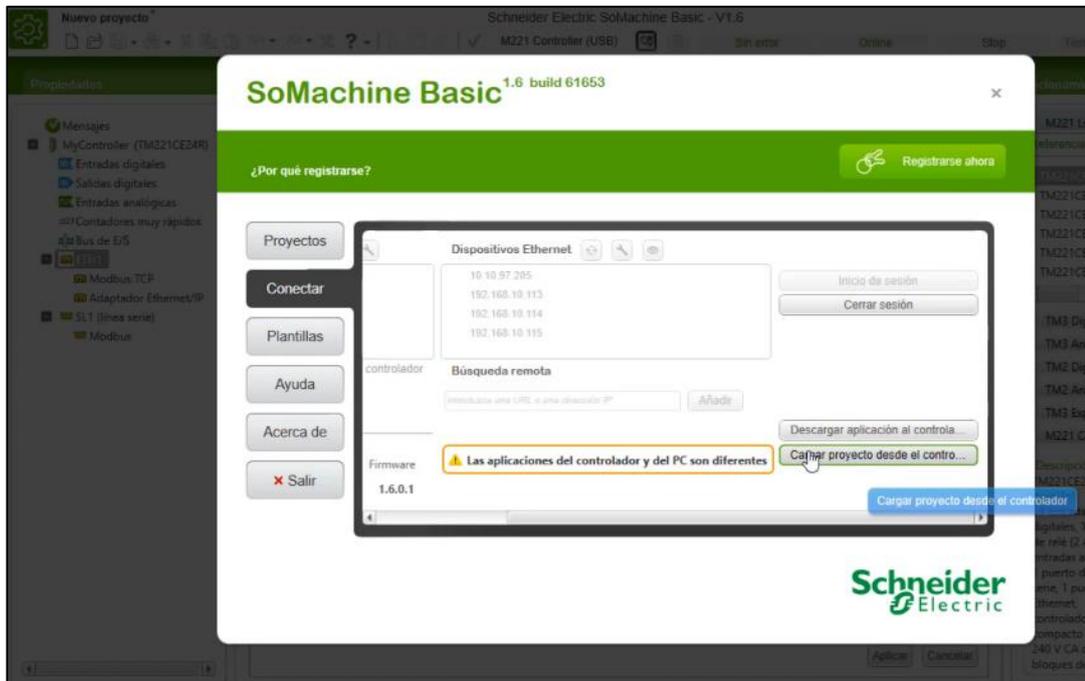


Figura 82- 2: Cargar o descargar programa en SoMachine Basic.

Fuente: Chiluisa, 2019.

Al tener presente todas las funcionalidades del programa podemos crear lecturas de variables analógicas, operaciones combinadas, secuenciales y demás, permitiendo una programación de procesos complejos, así como la comunicación con otros dispositivos.

No es pertinente del trabajo la enseñanza de los respectivos programas, pero se explicará lo fundamental para dar entendimiento sobre el aporte de dichas herramientas tecnológicas en el avance de la constitución del módulo de sistema de embotellado de líquidos.

2.15.2 Diseño de HMI-Lookout

Lookout es un paquete de software de interfaz hombre-máquina (HMI) y control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) para la automatización industrial, se ejecuta en Windows y se comunica con el campo de E / S a través del hardware de control, las aplicaciones típicas de Lookout incluyen monitoreo continuo de procesos y control de supervisión, fabricación discreta, aplicaciones por lotes y sistemas de telemetría remotos, es el software elegido para la creación de la HMI.

Permite representaciones graficas en la pantalla de un computador de un sin número de dispositivos y luego vincularlos con imágenes, permite comunicación distintos programas para gestión de datos, la mejorar el entendimiento sobre procesos industriales, el módulo didáctico deber regirse sobre ciertas directrices, véase figura 83- 2.

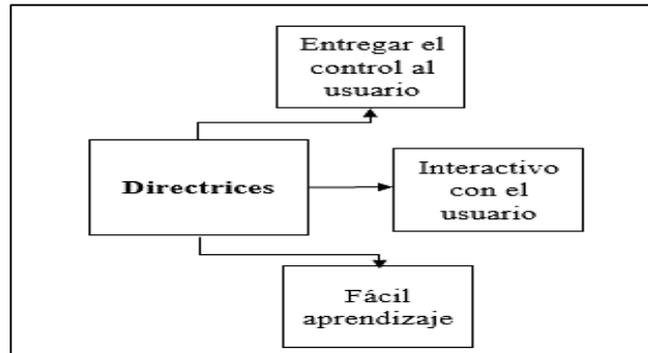


Figura 83- 2: Directrices para el diseño de la interfaz.

Fuente: Chiluisa, 2019.

2.15.2.1 Diseño de pantalla

El sistema de embotellado en su constitución presentará una interfaz provista con todas las etapas y funciones del proceso, en la tabla 23- 2 se muestra las características tomadas en cuenta en el diseño de interfaz, diferenciando su nivel de importancia de más alto a más bajo.

Tabla 23- 2: Funcionalidades del HMI.

Pantalla	Actividad	Nivel jerárquico
Pantalla principal (Administrados-operario)	Portada inicial de interfaz: habilita la navegación en los demás entornos por medio de credenciales.	Nivel 1
Estación de mezclado	Monitoreo y control de variables.	Nivel 2
Estación de dosificación	Monitoreo y control de variables.	Nivel 2
Estación de transporte	Monitoreo y control de variables.	Nivel 2
Estación de tapado	Monitoreo y control de variables.	Nivel 2
Estación de paletizado	Monitoreo y control de variables.	Nivel 2
Alarmas	Alarmas y eventos activos identificados y almacenados con información respectiva.	Nivel 2
Reportes	Visualización de datos históricos de variables y alarmas almacenadas.	Nivel 2
Red del sistema	Estado de conexión de red de componentes.	Nivel 2
Ayuda	Ofrece ayuda escrita para facilitar manejo de la interfaz.	Nivel 3
Control	Control de marcha y paro del motor de banda y botones digitales de control del proceso.	Nivel 3
Mantenimiento	Control de manipulación y verificación de cilindros neumáticos.	Nivel 3
Emergentes	Ventanas emergentes de eventos de emergencia o información al usuario.	Nivel 4

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Se entiendo el nivel jerárquico como nivel 1 de mayor nivel a nivel 4 de menor nivel, la información presentada y las funcionalidades dependen de tal nivel y de ahí su importancia, todas las etapas deben ser entendidas de manera visual y su funcionamiento comprendido de forma sencilla.

2.15.2.2 Interfaz gráfica.

Como cualquier software de programación de dispositivos es necesario especificar la forma de comunicación, para el caso se debe crear un ambiente maestro-esclavo, donde, el computador sea el maestro con funcionalidad de recepción y envío de datos, a y desde los PLCs esclavos, los dispositivos utilizados interactúan con la unidad central por medio de una interfaz, la cual permite visualizar el comportamiento de dichos dispositivos, véase figura 84- 2.

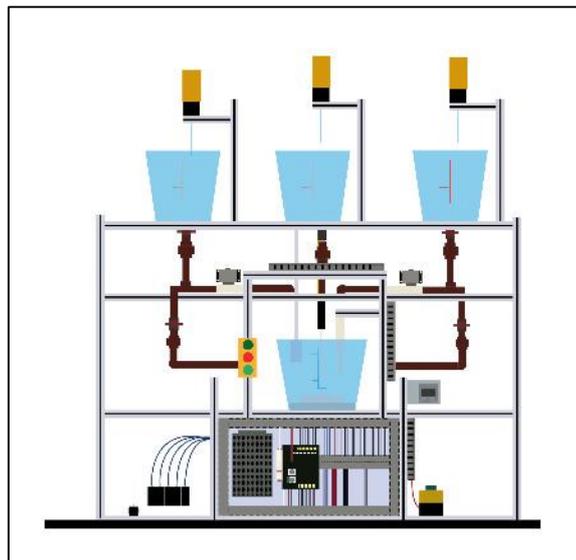


Figura 84- 2: Interfaz de etapa de mezclado.

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Los dispositivos instalados en la etapa de mezclado de líquidos interactuarán con la interfaz, se mostrará su estado de funcionamiento y alertas situacionales, de igual forma las demás etapas presentan funciones similares, cabe señalar, en el HMI implementado las etapas se muestran por separado, su visualización y control se realizar de dicha manera.

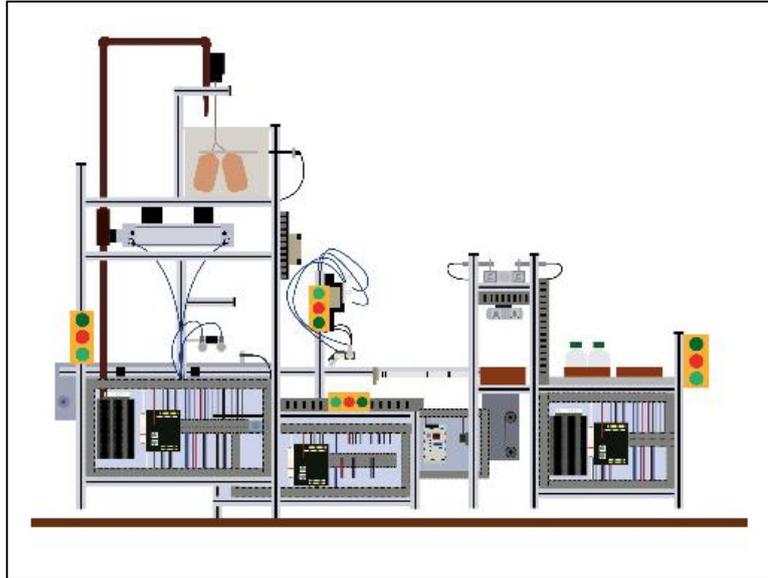


Figura 85- 2: Interfaz de etapa 2, 3,4 y5.

Realizado por: Chiluisa, 2019.

2.15.3 Variables del proceso

La mayoría de las variables utilizadas en el proceso, son señales de seguridad, no se centra en el proceso de fabricación, el proceso de embotellado se divide en 4 áreas, en 3 estaciones de trabajo y el sistema en general, las variables definidas en el sistema se muestran en la tabla 24- 2.

Tabla 24- 2: Variables del proceso.

Estación 1	Estación 2	Estación 3	General
Presencia de material	Presencia de material	Guarda de seguridad	Disponibilidad de aire
Estado (conectada o desconectada)	Estado (conectada o desconectada)	Accionamiento	Conexión de PLC 1 y 2
Velocidad de banda	Velocidad de banda		Conexión de PLC 3,4 y 5
Estado de banda	Estado de banda		Paro de emergencia
Guarda de seguridad	Guarda de seguridad		Guarda de seguridad
Paro de Emergencia	Paro de Emergencia		
Sensor laser	Cantidad de botellas		

Realizado por: Chiluisa, 2019.

2.16 Diseño de la red LAN

La red LAN diseñada para el proceso de embotellado de líquidos se realiza por un computador (Servidor), 1 controlador (Proceso) conectado mediante protocolo TCP/IP y un variador de

frecuencia, comunicando a los PLCs mediante protocolo Modbus, donde el servidor debe ser capaz de leer los datos del variador desde el PLC, conteniendo los registros de las variables del motor, todos los componentes ha excepción el variador, estarán conectados por un switch.

Elementos: Los dispositivos que conforman la red son; 5 PLC Schneider, 1 computador que funcionará de servidor permitiendo el almacenamiento de datos y ejecución del HMI-SCADA, un switch y un variador de frecuencia, conectado directamente al PLC mediante Modbus.

Cables: Se utilizan medios de comunicación guiados, como el cable UTP de 8 pines categoría 5 con puerto RJ-45, conectando los dispositivos ethernet y RS-485 para Modbus.

Topología: La estructura lógica de la red LAN es en estrella, bajo dicho esquema es necesario asignar direcciones IP a los diferentes dispositivos conectados, la topología física hace referencia a la disposición física de las máquinas, los dispositivos de red y cableado, véase figura 86- 2.

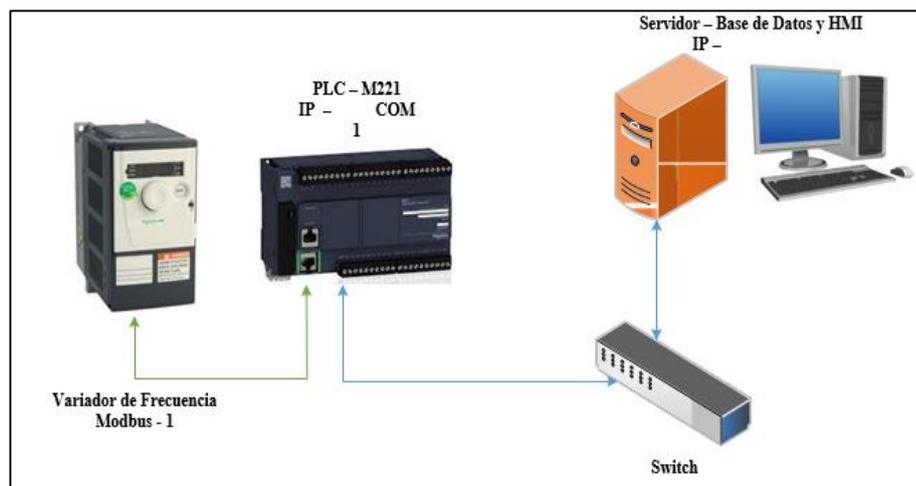


Figura 86- 2: Red de comunicación del proceso.

Realizado por: Chiluisa, 2019.

2.16.1 Direccionamiento

Para el direccionamiento se empleó una red tipo B, definidas en la tabla 25- 2, asignando las IP y máscaras de Subred 255.255.255.0 a los PLC, controlador de seguridad y computadores, la máscara de subred dispone 256 hosts, rango suficiente para lograr escalabilidad de la red, para el variador de frecuencia es necesario agregar una de las 256 direcciones que existe para una misma red Modbus el cual se selecciona la ID-1, asignando al variador como el esclavo y el PLC como el maestro en dicha red exclusiva de los 2 dispositivos.

Tabla 25- 2: Direccionamiento de dispositivos.

Dispositivos	Dirección IP	Etapa	Mascara de subred
PC servidor	192.168.1.10	Pc	255.255.255.0
PLC M221T	192.168.1.11	Mezclado	255.255.255.0
PLC M221T	192.168.1.12	Dosificado	255.255.255.0
PLC M221T	192.168.1.13	Transporte	255.255.255.0
PLC M221T	192.168.1.14	Tapado	255.255.255.0
PLC M221T	192.168.1.15	Paletizado	255.255.255.0

Realizado por: Chiluisa, 2019.

2.16.2 Comunicación entre PLC M221

Para compartir datos entre PLs, primero debemos configurar un servidor remoto a partir de ModBus TCP con las direcciones IP de cada dispositivo, habilitando la opción de Ethernet, después de seleccionar el tipo de objeto, se puede usar un conector RJ45 estándar, desde SoMachine configuramos los dispositivos en 2 instancias por la limitación de configuración de 1 dispositivo a la vez. (Electric, 2018, p.141)

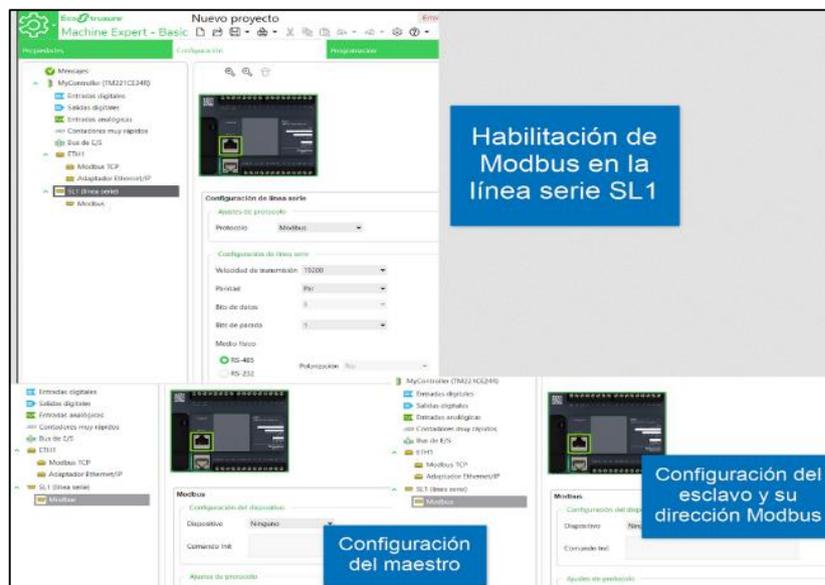


Figura 87- 2: Configuración SoMachine comunicación entre PLCs.

Fuente: <https://bit.ly/35Su1sF>

2.17 Inventario general de materiales y complementos actuales por etapas

2.17.1 Etapa de mezclado actual



Figura 88- 2: Etapa de mezclado actual.

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Inventario de materiales de la etapa de mezclado actual.

Tabla 26- 2: Materiales etapa de mezclado actual.

Cantidad	Material
3	Reservorio 8 L
1	Reservorio 12L
4	Válvulas Omac Tipe DA8
5	Electroválvulas
1	Bomba de agua
1	Mixer
1	Tubería
1	Estructura
4	Sensores de nivel
1	fuelle de 110V a 24V
1	PLC Schneider TM221CE16T
1	Interruptor
30	Borneras
1	Canaleta 1,8m
1	Riel din 45cm
1	Rollo de manguera 4 mm (25m)

1	Botonera de 3 estados
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) azul
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) rojo
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) negro
1	Tubo de 1 1/4 (2,5m)
1	Cable ethernet (5m)
1	Switch de 7 entradas

Realizado por: Chiluisa, 2019.

2.17.2 Etapa de dosificado final

Inventario de materiales de la etapa de dosificado actual.

Tabla 27- 2: Materiales etapa de dosificado actual.

Cantidad	Material
1	Reservorio 12L
2	Sensores de nivel
2	Sensores magnéticos Aiqinuo N-03R
2	Cilindros de doble efecto 27x40ml
1	Estructura de aluminio
2	Válvulas
1	fuelle de 110V a 24V
1	PLC Schneider TM221CE16T
1	Interruptor
30	Borneras
1	Canaleta 1,8m
1	Riel din 45cm
1	Rollo de manguera 4 mm (25m)
1	Botonera de 3 estados
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) azul
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) rojo
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) negro
1	Switch de 7 entradas
1	Cable ethernet (5m)
5	Electroválvulas Airtac 4V210-08 24V DC
10	Acoples para manguera de 4mm
4	Tapones de 6 mm
1	Base de 5 entradas para electroválvulas
1	Cable gemelo n° 12

Realizado por: Chiluisa, 2019.

2.17.3 Etapa de transporte actual

Inventario de materiales de la etapa de transporte actual.

Tabla 28- 2: Materiales etapa de transporte actual.

Cantidad	Material
1	Banda transportadora largo 1,5m x 20 cm ancho
4	Cilindros Airtac estándar miniatura
1	Estructura de aluminio
1	fuelle de 110V a 24V
1	PLC Schneider TM221CE24T
1	Interruptor
30	Borneras
1	Canaleta 1,8m
1	Riel din 45cm
1	Rollo de manguera 4 mm (25m)
1	Botonera de 3 estados
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) azul
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) rojo
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) negro
1	Cable ethernet (5m)
5	Electroválvulas Airtac 4V210-08 24V DC
10	Acoples para manguera de 4mm
1	Base de 5 entradas para electroválvulas
1	Cable gemelo n° 12
2	Sensores laser
1	Motor 0,5HP 220V trifásico
1	Variador de frecuencia para 0,5 Hp
1	Relé

Realizado por: Chiluisa, 2019.

2.17.4 Etapa de tapado actual

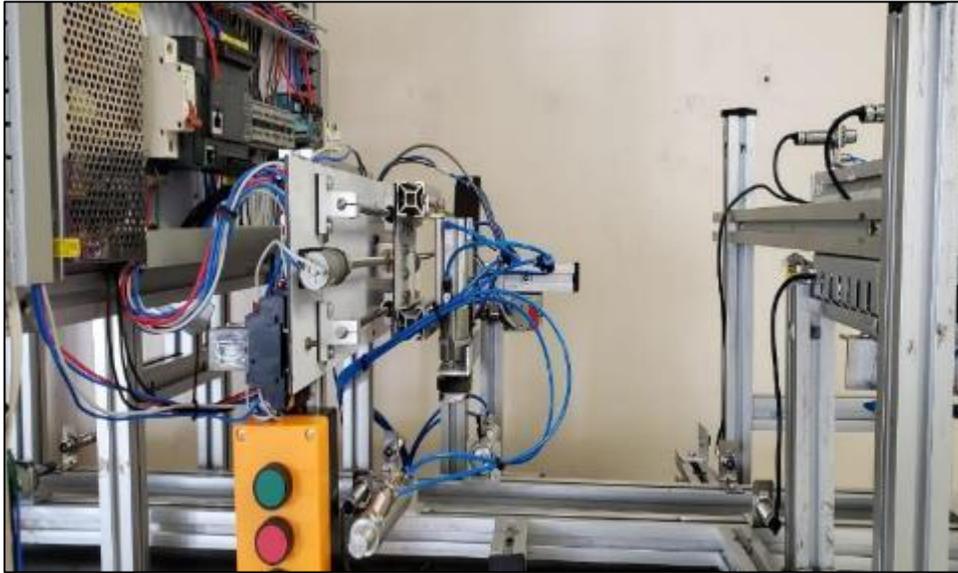


Figura 89- 2: Etapa de tapado final.

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Inventario de materiales de la etapa de tapado actual.

Tabla 29- 2: Materiales etapa de tapado actual.

Cantidad	Material
2	Cilindros Airtac miniatura
1	Motor 12V
1	Estructura de aluminio
1	Sensor laser
4	Relés
1	Tornillo sin fin
1	Motor de 9V
1	Tarjeta fuente de 24V a 12V
1	Mini pistón
1	Dispensador de tapas aluminio
1	fuelle de 110V a 24V
1	PLC Schneider TM221CE16T
1	Interruptor
30	Borneras
1	Canaleta 1,8m
1	Riel din 45cm
1	Rollo de manguera 4 mm (25m)
1	Botonera de 3 estados
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) azul
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) rojo

1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) negro
1	Cable ethernet (5m)
5	Electroválvulas Airtac 4V210-08 24V DC
10	Acoples para manguera de 4mm
1	Base de 5 entradas para electroválvulas
1	Cable gemelo n° 12

Realizado por: Chiluisa, 2019.

2.17.5 Etapa de paletizado final

Inventario de materiales de la etapa de mezclado actual.

Tabla 30- 2: Materiales etapa de paletizado actual.

Cantidad	Material
2	Cilindros doble efecto Airtac miniatura
1	Cilindro doble efecto Airtac Mic16x100S
1	Estructura
1	fuelle de 110V a 24V
1	PLC Schneider TM221CE16T
1	Interruptor
30	Borneras
1	Canaleta 1,8m
1	Riel din 45cm
1	Rollo de manguera 4 mm (25m)
1	Botonera de 3 estados
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) azul
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) rojo
1	Rollo de cable flexible n°16 (25m) negro
1	Cable ethernet (5m)
5	Electroválvulas Airtac 4V210-08 24V DC
10	Acoples para manguera de 4mm
1	Base de 5 entradas para electroválvulas
1	Cable gemelo n° 12
4	Sensores laser
4	Javas de 4 unidades
2	Reguladores de aire
50	Botellas plásticas 200ml

Realizado por: Chiluisa, 2019.

CAPITULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

3.1 Prueba de campo al sistema

La comunicación del sistema de embasado de líquidos se realiza por medio de un computador maestro a los demás dispositivos por medio de un switch, en el PC se dispone de un HMI para gestionar la visibilidad de operatividad, previamente configuradas las opciones de comunicación modbus es posible realizar la operación de arranque desde un pulsador de cualquier etapa y se podrá visualizar sus estados mediante el HMI.



Figura 90- 3: Arranque de los procesos.

Realizado por: Chiluisa Cristian, 2019.

Podemos testear el funcionamiento de los diferentes dispositivos conectados para comprobar su funcionalidad antes de comenzar cualquier proceso, desde el HMI, si los actuadores de la etapa en proceso funcionan correctamente se activará un led de aviso, mediante el uso del software lookout y su herramienta de comunicación modbus se observó que no se tiene perdidas en la transferencia de datos.

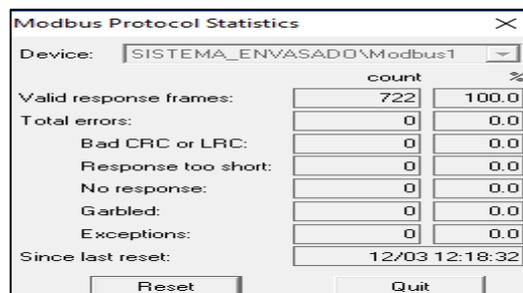


Figura 91- 3: Modbus Protocol Statistics.

Realizado por: Chiluisa Cristian, 2019.

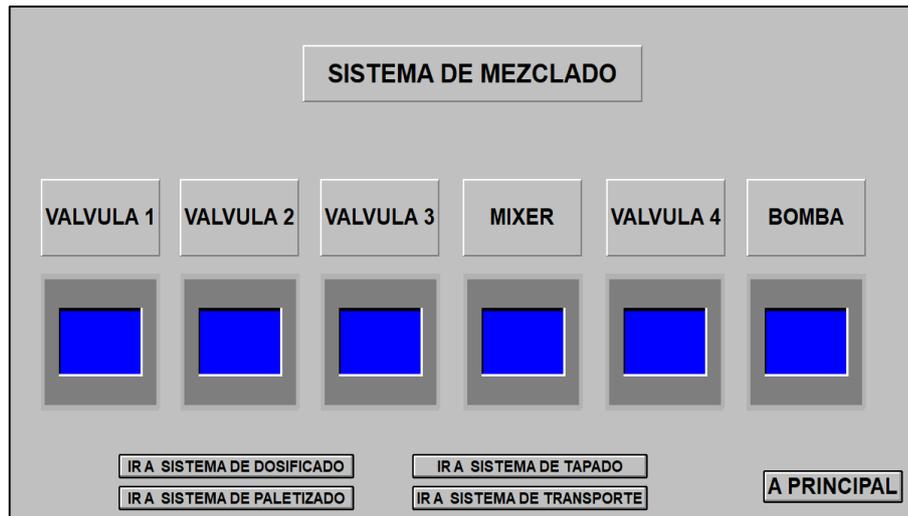


Figura 92- 3: Test de funcionamiento etapa de mezclado.

Realizado por: Chiluisa Cristian, 2019.

Una vez comprobado el funcionamiento de cada uno de los dispositivos utilizados podemos comenzar con el proceso de embotellado, la primera etapa requiere activar la bomba y las cuatro válvulas para llenar los tanques, los tiempos de llenado serán relativos a la disposición de recetas, para el caso solo se necesita comprobar el funcionamiento de cada etapa del proceso.



Figura 93- 3: Etapa de mezclado.

Realizado por: Chiluisa Cristian, 2019.

El llenado de los recipientes se realizó exitosamente, se comprobó la operatividad de la bomba, válvulas y mixer, en la parte de mezclado también interviene factores relativos a composición del líquido, pero para el caso la funcionalidad de los motores funciona correctamente.

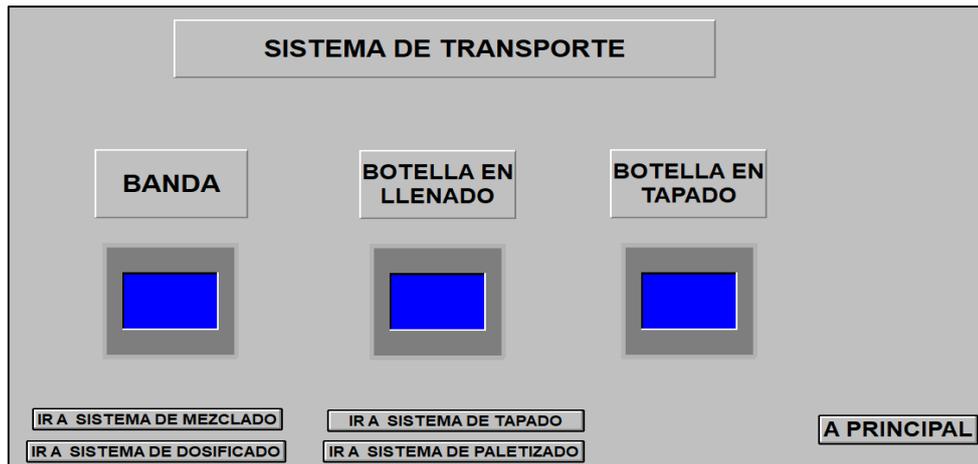


Figura 94- 3: Etapa de mezclado comprobación de funcionamiento.

Realizado por: Chiluisa Cristian, 2019.

Una vez culminada la etapa de mezclado, se debe preparar las botellas para ser transportadas por la banda hacia la etapa de dosificado, los sensores laser determinaran la presencia de botellas con los que se puede trabajar, la receta con la que se trabaje determina la disposición de cantidad de líquido, para el caso solo se comprueba la operatividad de la etapa en función al llenado de las botellas, como se muestra en la figura 94- 3.



Figura 95- 3: Etapa de dosificado, comprobación de funcionamiento.

Realizado por: Chiluisa Cristian, 2019.

Los sensores pistones limitan el llenado a un embace a la vez, su operatividad depende de un sensor de presencia, al detectar una botella los pistones se activan la banda se detiene hasta acabar con el dosificado una vez llena la botella dan paso al siguiente embace.

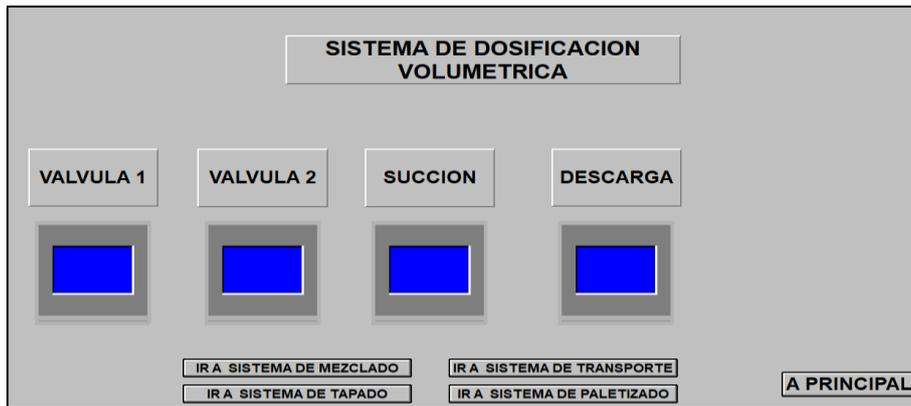


Figura 96- 3: Etapa de dosificación, comprobación de dispositivos.

Realizado por: Chiluisa Cristian, 2019.

Hasta la presente etapa todas las interacciones de los dispositivos son mostrados en el HMI con indicadores del proceso que se está ejecutando, accionamiento de las válvulas y así también como la succión y descargar de líquido, el control del tiempo es regulado en programación y esto dependerá de la aplicación de recetas y, para la etapa de tapado entra en operación la banda transportadora, y el tornillo sin fin, los sensores detectan el embace, la tapa es colocada y asegurada al embace, el mecanismo de tapado funciona interactuando con pistones, tornillo sin fin para el desplazamiento del sistema y un motor para el cierre de la tapa.

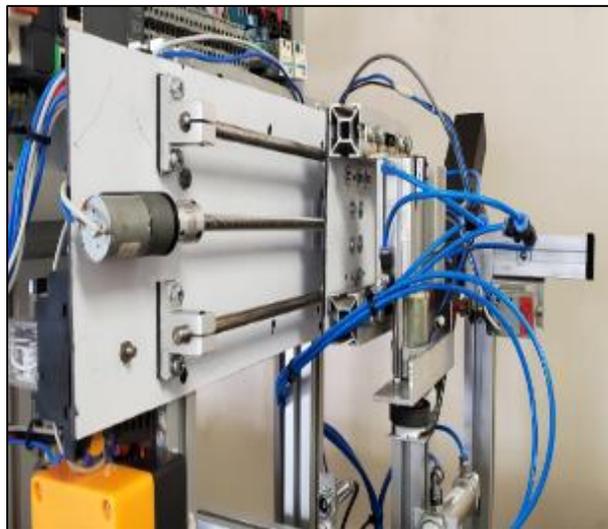


Figura 97- 3: Etapa de tapado.

Realizado por: Chiluisa Cristian, 2019.

De la misma forma el funcionamiento de cada dispositivo instalado se refleja en el HMI, en el caso del, desplazamiento del tornillo sin fin motor izquierda, motor derecho, el accionamiento para recoger y tapar las botellas véase figura 97- 3.

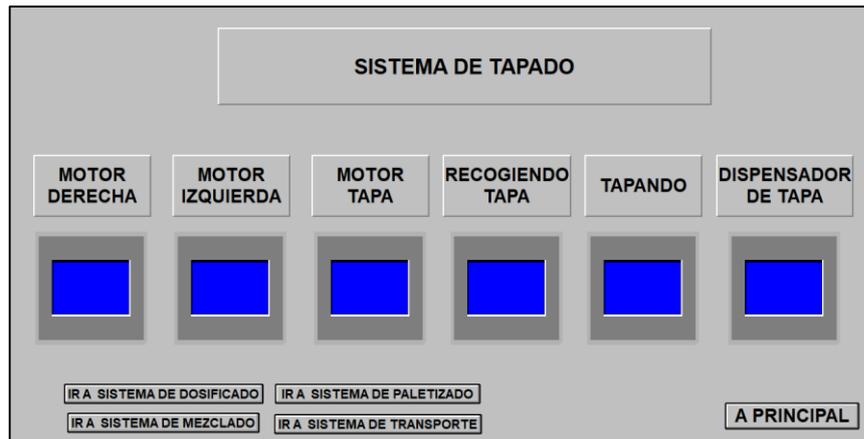


Figura 98- 3: Etapa de tapado comprobación de dispositivos.

Realizado por: Chiluisa Cristian, 2019.

El funcionamiento de la banda, bomba y motor también será mostrado, y de su operatividad depende el correcto funcionamiento del proceso, el proceso de tapado se realiza 4 veces, las botellas reposan al final de la banda y una vez detectadas, pasan a la etapa de paletizado. Los cilindros retienen las botellas por grupos de 4, los sensores inductivos aseguran la presencia de tales embaces, son levantadas y colocadas en el pallete.

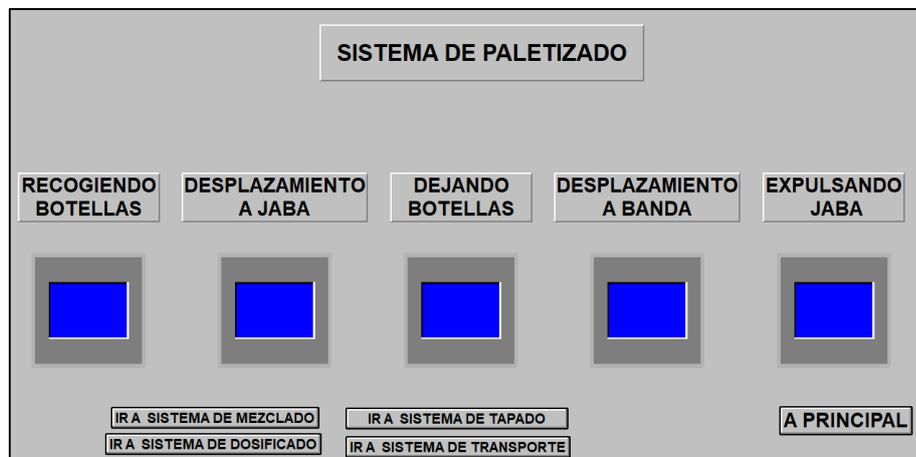


Figura 99- 3: Etapa de palatización comprobación de funcionamiento.

Realizado por: Chiluisa Cristian, 2019.

Las pruebas de funcionalidad final corresponden a indicadores de recogido de botellas de dos en dos, desplazamiento de java y banda, dejando botellas en las jabas y la explosión de estas dando un correcto funcionamiento de todos los indicadores en las diferentes etapas.

3.2 Pruebas de campo por etapas

EL sistema construido consta de 3 etapas, una mecánica, hardware y software que trabajan de forma simultánea con un objetivo en común. Cabe recalcar que el sistema en su totalidad está diseñado de aluminio, que es el tipo de metal no ferroso especialmente utilizado en manufactura esbelta, como se muestra en la figura 100- 3 el módulo terminado para las pruebas.



Figura 100- 3: Sistema de embotellado.

Realizado por: Chiluisa, 2019.

3.2.1 *Tamaño de la muestra*

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

$$n = \frac{t^2(a/2, n - 1) * S^2}{E^2} Ec(3 - 1)$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

$t^2(a/2, n - 1)$ = valor que pertenece a la distribución T-student, depende del nivel de confianza asignado y los grados de libertad. Se escogió esta distribución debida a que el tamaño de las muestras independientes.

S^2 = Valor de la varianza de la muestra previa.

E^2 = error máximo esperado.

Como primer paso, se obtiene de los tiempos haciendo uso de un cronometro de las etapas antes mencionadas.

Tabla 31- 3: Tiempos de cada etapa en segundos.

Nro.	Etapas				
	MEZCLADO (seg)	DOSIFICADO (seg)	TRANSPORTE (seg)	TAPADO (seg)	PALETIZADO (seg)
1	32.22	11.06	21.45	9.56	13.09
2	32.20	11.22	21.56	9.32	13.29
3	32.12	11.56	22.06	9.45	13.22
4	32.00	11.78	22.12	9.12	12.56
5	32.05	11.65	21.42	9.46	13.26
6	32.25	11.12	21.32	10.12	13.07

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Cabe recalcar que la toma de datos del proceso de dosificado se lo realizo con un volumen constante en el reservorio a su máxima capacidad de 8 L con envases de 200 ml. Se aplica la fórmula a los datos de la tabla 31- 3 para obtener el número de muestras a tomar en diferentes etapas, los resultados se obtienen en la tabla 32- 3.

Tabla 32- 3: Prueba t student para única muestra.

	MEZCLADO	DOSIFICADO	TRANSPORTE	TAPADO	PALETIZADO
MEDIA	32,14	11,3983333	21,655	9,505	13,0816667
VARIANZA	0,01004	0,09177667	0,11975	0,11375	0,07333667
ERROR	1	1	1	1	1
CONFIANZA	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MUESTRAS	2,94	3,73	4,59	1,34	1,88
T	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Con los cálculos realizados de la tabla 32- 3, se determinó el número de pruebas a realizar por etapas.

Transporte: 4,59 \approx 5 Muestras.

Se considera un error de un 1%, recordando que la fórmula de cálculo para la media poblacional nos da la libertad de elegir el error entre 0% y 5% a decisión del usuario, recordando que entre más pequeño el error, más exacto es el sistema.

3.2.2 Pruebas Totales

Ya con el número de muestras calculado, se procedió a la toma de estas, acotando que el proceso de mezclado es privado y solo se lo hace una vez, ya que no es repetitivo al número de pruebas que se realizó, las cuales se detalla a continuación en la tabla 33- 3.

Parámetros de prueba generales:

- Reservorio etapa mezclado válvulas 1,2 y 3: 8L
- Reservorio etapa de mezclado:4L
- Reservorio etapa de dosificación: 4L.
- Cantidad de envases: 20.
- Capacidad por Envases: 200ml.
- Se recalca que en el proceso de mezclado solo se lo hace al principio, por lo cual el primer envase tiene un mayor tiempo, ya que no se repite este proceso. Y el proceso completo compete a cada 4 botellas, terminado por el proceso paletizado.

Tabla 33- 3: Pruebas totales para un número de botellas de 20.

Envase	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
	Tiempo(seg)	Tiempo(seg)	Tiempo(seg)	Tiempo(seg)	Tiempo(seg)
1	74,29	72,28	73,08	75,30	76,04
2	129,45	129,13	125,16	130,06	129,06
3	171,52	170,25	165,45	173,50	171,23
4	226,68	127,03	128,45	227,91	226,54
5	268,75	166,22	164,78	269,40	270,65
6	323,91	322,80	323,80	320,54	322,14
7	365,98	367,05	365,07	364,42	364,55
8	421,04	420,60	421,05	420,12	420,14
9	463,11	464,10	464,13	455,65	454,12
10	505,18	504,07	504,09	498,12	499
11	547,25	546,51	547,56	546,12	545,11
12	602,41	603,83	602,30	600,23	601,45
13	644,48	643,13	644,49	642,78	640,01
14	699,64	700,02	698,50	699,52	698,45
15	741,71	743,00	742,54	743	742,98
16	796,87	795,07	797,90	796,21	795,48
17	838,94	838,45	839,60	840	839,96
18	894,12	895,12	893,50	894,21	895,32
19	936,17	935,52	937,03	935,12	936,45
20	991,33	992,08	990,98	989,96	986,35

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Como se ve en la tabla 33- 3, cuando el reservorio de dosificación está a una capacidad de 4L, para envasar los primeros 20 envases le toma un tiempo promedio de 990,14 segundos (16,50 minutos), cabe recalcar que a medida que el nivel de fluido disminuya en el mismo tiempo aumentara, ya que la dosificación es por caída de gravedad y depende de la altura del fluido en el reservorio. La figura 101- 3 es una gráfica construida con los datos de la tabla 3- 3 de Tiempo (seg) vs Numero de Prueba, donde se observa un gráfico de barras que compara 2 de las 5 pruebas

en las mismas condiciones elegidas al azar, donde se aprecia que la variación entre uno y otra es mínima, lo que garantiza una estabilidad del equipo.

La diferencia total entre el envasado de 20 botellas con referencia a la prueba 1 y 2 es de 53,95 segundos.

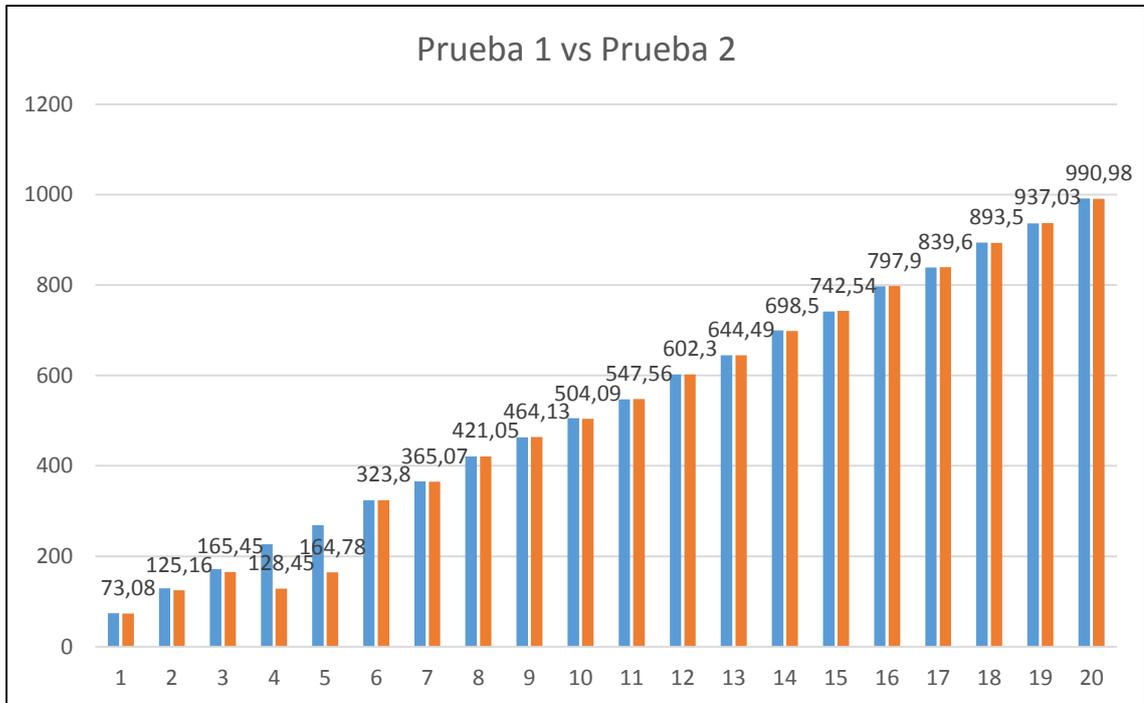


Figura 101- 3: Prueba 1 vs Prueba 2.

Realizado por: Chiluisa, 2019.

3.2.3 Cálculo de errores y pérdidas

Tal como se realizó antes, se procedió a sacar el tamaño de la muestra para determinar el número de pruebas a realizar, para ello se utilizó la ecuación.

$$n = \frac{t^2(a/2.n - 1) * S^2}{E^2} Ec(3 - 1)$$

En la tabla 3- 4 se registró los datos recogidos que se usaron para el cálculo de dicha muestra, para ello se utilizó agua potable, cabe recalcar que se restó los 50 gr. De peso del envase.

Tabla 34- 3: Báscula Digital.

Líquido Agua	
Volumen ml	Peso Gr
200	219,99
200	220
200	219,96
200	219,98

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Los datos fueron tomados manualmente con una báscula digital y fueron registrados con las muestras previas tomadas, se aplicó la ecuación a los datos de la tabla 34- 3, donde se obtuvo los resultados registrados en la tabla 35- 3.

Tabla 35- 3: t student para única muestra.

	Exactitud
MEDIA	219,9825
VARIANZA	0,00029167
ERROR	0,01
CONFIANZA	0,01
T	7,45
MUESTRAS	4,02

Realizado por: Chiluisa, 2019.

De acuerdo con los valores obtenidos en la tabla 35- 3, las muestras que se tomaron fueron las siguientes:

Muestras: $4,02 \approx 4$ muestras.

Con el número de muestras ya calculado, se procede a la toma de datos de la capacidad de cada envase. Los valores se registran en la tabla 36- 3.

Tabla 36- 3: Capacidad de cada envase.

Nro.	Líquido agua	
	Volumen ml	Peso gr
1	200	219,98
2	200	219,96
3	200	219,99
4	200	219,98

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Para la determinación de pérdidas que genera el sistema, se comparó el volumen de entrada con el volumen de salida obteniendo el valor de volumen en peso.

En valor de en Gr del Peso E, es una constante y tiene un valor de Peso E = 220 Gr. Las pérdidas que el sistema genera se lo determino con la siguiente ecuación y se registran en la tabla 37- 3.

$$P\acute{e}rdidas = 100 - \left(\frac{\text{peso } F}{\text{peso } E} * 100 \right) Ec(3 - 2)$$

Tabla 37- 3: Porcentaje de pérdida.

Nro.	Volumen ml	Peso E	Peso F	Error (%)
1	200	220	219,98	0,02
2	200	220	219,96	0,04
3	200	220	219,99	0,01
4	200	220	219,98	0,02

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Como se puede ver en la tabla 37- 3, se obtuvo los valores de pérdidas de cantidades o error en la medición, donde se obtiene un valor de Perdidas Máximas del 0,04 % que equivale al en 0,0004 ml en 200ml.

3.2.4 Pruebas del proceso de embotellado de líquidos

Se llevó a cabo las pruebas de cada etapa del proceso de embotellado de líquidos con el fin de conocer la factibilidad de cada uno de estos. Se debe tener en cuenta que el peso de los envases es casi despreciable ya que son de plástico e influyen en la velocidad de la banda transportadora tanto cuando están en estado vacío como lleno, cada proceso completo resulta en la paletización de 4 unidades en jvas para la explosión y finalizado del proceso completo.

Se realizó las pruebas y se detallan a continuación en la tabla 38- 3 el proceso de embotellado completo por jvas de 4 unidades con el fin de determinar si en algún momento el proceso se detiene.

Tabla 38- 3: Pruebas del proceso de embotellado de líquidos.

Cantidad de envases	Tiempo proceso completo	Mezclado falla	Dosificación falla	Tapado falla	Banda falla	Paletizado falla
4	226,68	No	No	Si	No	No
8	420,60	No	No	No	No	No
12	602,30	No	No	No	No	No
16	796,87	No	No	No	No	No
20	992,08	no	no	no	no	No

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Como se observa, el sistema completo tiene gran eficiencia de esta cada etapa de trabajo funciona de manera independiente como scada ante fallas de calibración.

3.3 Análisis de costos

Se llevó a cabo un análisis de costo con el fin de conocer cuál es el alcance de la maquina ante el mercado y fabricantes. Para esto se la comparo con una maquina Sistema automático rotativo para llenado de líquidos de baja densidad, como se muestra en la figura 102- 3 la cual tiene los siguientes componentes que se detallan a continuación.

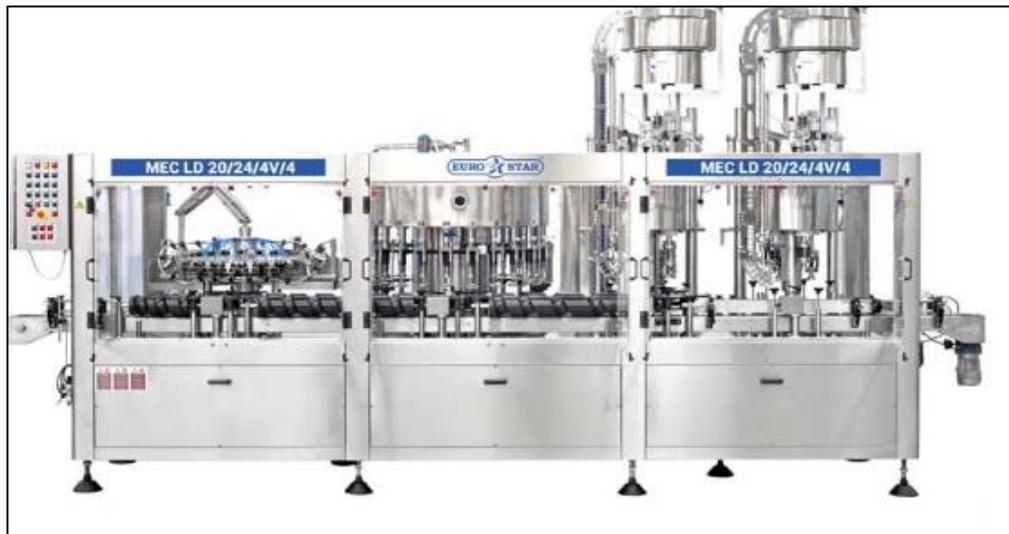


Figura 102- 3: Sistema automático rotativo para llenado de líquidos de baja densidad.

Realizado por: Chiluisa, 2019.

Tabla 39- 3: Características del sistema automático rotativo.

CARACTERÍSTICAS	SISTEMA PROPIO	SISTEMA AUTOMÁTICO ROTATIVO
Rangos de llenado	Hasta 200ml	HASTA 3L
Precisión	0.04%	0.01%
Amperaje(A)	0.81	3
Voltaje(v)	110V/ 220V	220V
Potencia(w)	180	1000
Controlador	Schneider Electric	Mitsubishi
Banda transportadora	1.65	2.4
Material	6063 aleación de aluminio	Acero inoxidable AISI 304
Precio	4000	56000

Realizado por: Chiluisa, 2019.

CONCLUSIONES

- Se realizó el diagnóstico al sistema de embotellado de líquidos, determinando que el estudio técnico por módulo en la etapa de mezclado se obtuvo un porcentaje de 78%, etapa de dosificado 70%, etapa de transporte 54%, etapa de tapado 51% y etapa de paletizado 63%, como promedio general del estado técnico es de 63% que equivale a muy malo lo cual se hizo una reparación general.
- Se analizó el requerimiento del sistema de embotellado de líquidos por lo que se determinó la necesidad de implementar un nuevo control, eléctrico, automático y sensórico.
- Se implementó un sistema automatizado con control hmi-scada para el proceso de embotellado de líquidos, que permite el correcto funcionamiento del sistema, STAND ALONE, que se puede analizar unidireccionalmente o integrado.
- Mediante la prueba de funcionalidad en hmi-scada se determinó que no existe fallas ni pérdida de datos en base a cada etapa del proceso al momento de desempeñar sus ciclos correspondientes a través del control estadístico de Lookout y el desarrollo apropiado del Graficet de cada módulo.

RECOMENDACIONES

- Realizar mantenimiento de software, depurando el programa de cada módulo, sí se realizan cambios en los mismos.
- Realizar calibraciones constantes en cada módulo, debido a la movilidad de este por carácter didáctico.
- En la implementación y disposición de dispositivos se recomienda establecer normas de conexión y disposición de cableado, para evitar congestión en canaletas y mala operatividad de dispositivos.
- Es recomendable utilizar el Grafcet como método para obtener las ecuaciones lógicas e implementarlas con un lenguaje de programación con IEC61131-3, en este caso el Ladder

BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA MARTÍNEZ, P. *Programación de PLC'S*, (Universidad Autónoma de Nuevo León, Doctoral dissertation), 2002, <http://eprints.uanl.mx/919/1/1020148252.PDF>

AGUILERA MARTÍNEZ, P. *Redes seguras (Seguridad informática)* [en línea] 2011. Consultado el: 25-nov-2019. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=4TKJ9IpMSJEC&pg=PT452&dq=bus+de+campo&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjti4SWo-zjAhUF2VkKHX0jBocQ6AEIRjAE#v=onepage&q=bus+de+campo&f=false>

AKE, K. *Information technology for manufacturing : reducing costs and expanding capabilities*, St. Lucie Press, 2004..

AKERS, M. *Sterile drug products : formulation, packaging, manufacturing, and quality*, 2010. Informa Healthcare.

ALFAOMEGA, V. -, EDICIÓN, 1ª, MÉXICO, UNDEFINED,. *Automatización industrial moderna*, 2001, <http://dspace.ucbscz.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/4888/1/4380.pdf>

ALVARADO RODRÍGUEZ, J. , SOTOMAYOR CÁRDENAS, D. , LARRIVA BORRERO, F. , & SILVA LOJÁN, F. *Diseño, construcción y montaje, de una planta adoquinera-bloquera productora de 1500 bloques y adoquines diarios para la Universidad Nacional de Loja*, 2008. Retrieved from <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/16759>

ÁLVAREZ, M. *Controladores lógicos*, (M. S.A., Ed.), 2007, Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=hcjzv_xtuc8C&printsec=frontcover&dq=principio+de+funcionamiento+PLC&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiY5c2H5-fjAhUCvFkKHby5DHQQ6AEIWTAJ#v=onepage&q&f=false

ANTÚNEZ SORIA, F. *Puesta en marcha de sistemas de automatización industrial*. ELEM03112016. IC Editorial.

AVILA, H. *Introducción a la metodología de la investigación*, 2006. Retrieved from http://www.joseacontreras.net/metinv/eumednet/MethodInvestPDFs/203_IntrodMethodInvest_AvilaBarayHectorLuis.pdf

BASU, S. *Plant flow measurement and control handbook : fluid, solid, slurry and multiphase flow*, 2019.

BOLTON, W. *Programmable logic controllers*, Newnes, 2009.

BRUMBACH, M. *Industrial Electricity*, (8th Editio; D. Garza, Ed.), 2010. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books?id=vfcFAAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q=digital input PLC&f=true](https://books.google.com.ec/books?id=vfcFAAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q=digital+input+PLC&f=true)

CALLONI, J. *Curso básico de fuerza motriz*, (1a ed; Alsina, Ed.), 2015.

CALZA, F. *Manuale degli impianti termici e idrici*, Tecniche nuove, 2005..

CAMPOS ARÁGON, L. *Experiencias concretas de innovación y aprendizaje tecnologico en la empresa luz y fuerza del centro*,. UNAM, 1997.

CENTENO, ALICIA; CARRASCO, J. *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA ENVASADORA Y DOSIFICADORA DE REFRESCOS PARA LA INDUSTRIA DE LÁCTEOS SANTILLÁN "PRASOL*, 2015. Retrieved from <https://docplayer.es/36006728-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo-facultad-de-mecanica-escuela-de-ingenieria-mecanica.html>

CHEREMISINOFF, N. *Handbook of chemical processing equipment*, Butterworth-Heinemann, 2000.

CLARKE, G. , REYNDERS, D., & WRIGHT, E. *Practical modern SCADA protocols : DNP3, 60870.5 and related systems*, Elsevier, 2004.

COLBERT, E. , & KOTT, A. *Cyber-security of SCADA and other industrial control systems*, Springer, 2016..

COMESAÑA COSTAS, P. *Montaje e instalación de sistemas de transporte por cinta continua guía práctica para el instalador de máquinas y equipos industriales*, IdeasPropias, 2011.

CORTÉS, C. *Controladores Lógicos Programables*, 2001, Retrieved from http://www.infopl.net/files/documentacion/automatas/infoPLC_net_apunte_plc.pdf

DORF, R., BISHOP, R., CANTO, S., CANTO, R., & DORMIDO, S. *Sistemas de control moderno*, 2005. Retrieved from <http://dSPACE.ucbscz.edu.bo/dSPACE/bitstream/123456789/4811/1/4511.pdf>

EBNESAJJAD, S. *Plastic films in food packaging : materials, technology and applications*, 2013.

ELECTRIC, S. *Modicon M221 Logic ControllerGuía de hardware*, 2018. Retrieved from https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=EIO0000003316.00.pdf&p_Doc_Ref=EIO0000003316

ESCAÑO, J. *Integración de sistemas de automatización industrial*, 2019. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=gj2dDwAAQBAJ&pg=PA119&dq=somachine+basic&h>

l=es-

419&sa=X&ved=0ahUKEwj0ysaErY3kAhVpuVkKHfurBUcQ6AEIKDAA#v=onepage&q=so
machine basic&f=false

EXSOL. *¿QUÉ ES LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL?*, 2017. Retrieved from
www.exsol.com.ar/automatizacion-industrial/

GARCIA, A. *El Computador en la Automatización de la Producción*, 2007.

GARCÍA HIGUERA, A. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, *El control automático en la industria*, 2005.

GARCÍA HIGUERA, A., & CASTILLO GARCÍA, F. *CIM : el computador en la automatización de la producción*, 2007. Retrieved from
https://books.google.com.ec/books?id=Ook9Ec9n2ZcC&pg=PA181&dq=SCADA+control+lazo+cerrado&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjusoPwg-_jAhWislkKHVM0AB4Q6AEIMzAC#v=onepage&q=SCADA control lazo cerrado&f=false

GARCÍA, J. *SISTEMAS INFORMÁTICOS EN TIEMPO REAL: TEORÍA Y APLICACIONES*, 2017,

https://books.google.com.ec/books?id=WYomDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=tiempo+real+control&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwidm7iike_jAhVivlkKHfaOAQ0Q6AEIKDAA#v=onepage&q=tiempo real control&f=false

GARCÍA, V. *Manipulación de cargas con carretillas elevadoras. INAD0108*, 2013. Retrieved from

<https://books.google.com.ec/books?id=9WXuCGAAQBAJ&pg=PT115&dq=sistema+de+paletizacion+aplicaciones&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjontz37vHjAhXNxlkKHRasByMQ6AEIKDAA#v=onepage&q=sistema de paletizacion aplicaciones&f=false>

GUERRERO, V.; YUSTE, R.; MARTÍNEZ, L. (Primera ed) *Comunicaciones industriales*, 2009. Retrieved from

<https://books.google.com.ec/books?id=fPCVCoDCa8IC&pg=PT226&dq=profibus&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjMq8bgwOzjAhVM2FkKHEx3BSE4ChDoAQhSMAY#v=onepage&q=profibus&f=false>

GUERRERO SAIZ, J. *Programación estructurada de autómatas programables con Grafset*, 2019.

HORACIO D. VALLEJO, ELECTRÓNICA N^o, S. LOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES PLC, 2005. Retrieved from www.editorialquark.com.ar

KALPAKJIAN, S., & SCHMID, S. *Manufactura, ingeniería y tecnología*, 2002. Retrieved from https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=gilYI9_KKAoC&oi=fnd&pg=PR19&dq=manufactura+de+productos&ots=mp9OAVpyJz&sig=JK2K_5yv6RqhElu7xtp5gDntKlg

LARRODÉ, E., CATEJÓN, L., & CUARTERO, J. *Transportes en la ingeniería industrial : teoría*, 1998. Universidad de Zaragoza.

LIFELONG LEARNIG. MASTER DEGREE: Industrial Systems Engineering ? Diagrama de Bloques de Funciones (FBD) un lenguaje de diagramas de bloques secuenciales; Diagramas de Tipo Escalera (LD) un lenguaje de diagramas de ... - [PDF Document],2011. Retrieved August 3, 2019, from <https://vdocuments.mx/master-degree-industrial-systems-engineering-diagrama-de-bloques-de-funciones.html>

LLEDÓ, G. *Automatización de una planta industrial*, 2017..

LOPEZ, C. *Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto*, Instituto Tecnológico Geominero de España, 1991..

LU, Z., KIM, D., WU, W., LI, W., & DU, D. Combinatorial optimization and applications: 9th International conference, COCOA, Houston, TX, USA, December 18–20, 2015, proceedings,2015. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9486, 810. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26626-8>

MALONEY, T. *Electrónica industrial moderna*, 2006. Retrieved from https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=H-irtU49BokC&oi=fnd&pg=PR20&dq=Electrónica+industrial+moderna&ots=FbwYb4Mq5B&sig=9hV_GVHEyif1piyDrvpoiTAYRvU

MANOJ, K. *Industrial Automation with SCADA: Concepts, Communications and Security*2019. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=FgCRDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=SCADA+communication&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjVgoOO5ezjAhWMwFkKHcL4DtQQ6AEITDAE#v=onepage&q=SCADA+communication&f=false>

MARTÍNEZ, J. *Profesores de Enseñanza Secundaria. Tecnología.* (Volumen 4; S. . EDITORIAL MAD, Ed.), 2003 Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=r32D3siDbgsC&pg=PA552&dq=entradas/salidas+PLC&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjom-ze8-fjAhXk01kKHvKPDY0Q6AEIMzAC#v=onepage&q=HMI&f=false>

MCCRADY, S. *Designing SCADA application software : a practical approach*, Elsevier, 2013.

MOLINA MARTÍNEZ, J., & JIMÉNEZ BUENDÍA, M. *Programación gráfica para ingenieros*, 2010. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=NWHRciSLmuoC&pg=PA195&dq=sistema+scada&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj7yZCozOzjAhXJtVkKHUL6Bh4Q6AEISjAH#v=onepage&q=sistema+scada&f=false>

MUÑOZ RAZO, C. *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*, Prentice Hall Hispanoamericana, 1998.

NUEVO GARCÍA, A. *Sistemas secuenciales programados*, 2018. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=sKVdDwAAQBAJ&pg=PA22&dq=PLC+compacto&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwio26DUxOfjAhWQ1FkKHbI0A74Q6AEINzAD#v=onepage&q=PLC+compacto&f=true>

OLAYA, A. (n.d.). Implementación de una Red MODBUS/TCP, 2011. Retrieved from http://praxis.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2277

OLIVA ALONSO, N., & ALONSO CASTRO, M. *Redes de comunicaciones industriales*, 2013. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=4TKJ9IpMSJEC&pg=PT452&dq=bus+de+campo&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjti4SWo-zjAhUF2VkKHx0jBocQ6AEIRjAE#v=onepage&q=bus+de+campo&f=false>

PARDO ALONSO, J. IC Editorial, *Montaje y puesta en marcha de sistemas robóticos y sistemas de visión en bienes de equipo y maquinaria industrial (UF0461)*.2000

PÉREZ, E., ACEVEDO, J., & SILVA, C. (a). *Automatas programables y sistemas de automatización/PLC and Automation Systems*, 2009. Retrieved from https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=5jp3bforBB8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Automatas+programables+y+sistemas+de+automatizacion+&ots=g1Gvg28hXj&sig=E_PQq4ZuLJDRT5_NXp4YheAFklo

PÉREZ GARCÍA, M. *Instrumentación electrónica*, Paraninfo, 2014.

PIGAN, R., & METTER, M. (2nd ed.), *Automating with PROFINET : industrial communication based on industrial Ethernet*, 2009. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=BqXYCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=profinet&hl=es->

419&sa=X&ved=0ahUKEwje8PejwOzjAhUOq1kKHUomDqcQ6AEIKzAA#v=onepage&q=pr
ofinet&f=false

PONSA ASENSIO, P., & VILANOVA ARBÓS, R. *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*, 2005. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=7B2OuLPnQwcC&pg=PA17&dq=bloques+de+funciones+ladder&hl=es->

419&sa=X&ved=0ahUKEwidlnrqPTjAhVNuVkKHW4PDhgQ6AEIKDAA#v=onepage&q=bl
oques de funciones ladder&f=false

PONSA, P. (n.d.). *Diseño y automatización industrial*, 2009. Retrieved from <http://www.academia.edu/download/37716935/interfaz.pdf>

RODRÍGUEZ PENIN, A. *Sistemas SCADA*, Marcombo, 2007..

ROHNER, P. *PLC: automation with programmable logic controllers : a textbook for engineers and technicians*, UNSW Press, 1996..

ROMERO CARRILLO, P. *Montaje y mantenimiento de líneas automatizadas*, 2018. Retrieved from

<https://books.google.com.ec/books?id=YoNZDwAAQBAJ&pg=PA159&dq=Nivel+de+Campo+y+Proceso+plc&hl=es->

419&sa=X&ved=0ahUKEwivqbnvpejjAhXqx1kKHf9jD_gQ6AEILTAB#v=onepage&q=Nivel
de Campo y Proceso plc&f=false

RUIZ CANALES, A., & MOLINA MARTÍNEZ, J. *Automatización y telecontrol de sistemas de riego* 2010.

SÁNCHEZ, B. *Ingeniería de instrumentación de plantas de proceso*, 2018. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books?id=eGGNDwAAQBAJ&pg=PA475&dq=modbus+introduccion&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwir5rO4x-](https://books.google.com.ec/books?id=eGGNDwAAQBAJ&pg=PA475&dq=modbus+introduccion&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwir5rO4x-zjAhXPPfKkHd6sBMkQ6AEIKDAA#v=onepage&q=modbus+introduccion&f=false)

[zjAhXPPfKkHd6sBMkQ6AEIKDAA#v=onepage&q=modbus+introduccion&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=eGGNDwAAQBAJ&pg=PA475&dq=modbus+introduccion&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwir5rO4x-zjAhXPPfKkHd6sBMkQ6AEIKDAA#v=onepage&q=modbus+introduccion&f=false)

SANCHIS PALACIO, J. & RIBEIRO SORIANO, D. Ediciones Díaz de Santos. *Creación y dirección de Pymes*, 2007.

SOLBES MONZÓ, R. *Automatismos industriales : (contenidos conceptuales y procedimentales) : instalaciones eléctricas y automáticas*, Nau LLibres, 2013.

TORRES, R. *UF0854, 5.0,- Instalación y configuración de los nodos de una red de área local*, 2014 . Retrieved from

<https://books.google.com.ec/books?id=PX5XDwAAQBAJ&pg=PA238&dq=niveles+OSI&hl=es->

419&sa=X&ved=0ahUKEwj47OTKquzjAhXjx1kKHV3UCP4Q6AEIOTAD#v=onepage&q=ni
veles OSI&f=false

UNITRONICS. Opegasa Ingeniería - Unitronics: Automatas programables PLC con HMI, OPLC ,
terminales de operador con PLC integrado - Toledo - Madrid,2018. Retrieved August 3, 2019,
from <http://www.opegasaingenieria.com/unitronics.htm>

VALDIVIA, C. *Comunicaciones Industriales*2019. Retrieved from 6 de mayo de 2019

VÁZQUEZ, S. *Técnicas y procesos en instalaciones domóticas y automáticas (Electricidad
Electronica)*, 2013. Retrieved from

<https://books.google.com.ec/books?id=W8qgDwAAQBAJ&pg=PA126&dq=MTU+SCADA&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiz3KiQm->

[jAhVD1lkKHfDka9wQ6AEIOzAC#v=onepage&q=MTU SCADA&f=false](#)

Información Tecnológica.2017. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books?id=XjpYk7-](https://books.google.com.ec/books?id=XjpYk7-EBgC&pg=PA82&dq=ventajas+de+buses+de+campo&hl=es-)
[-EBgC&pg=PA82&dq=ventajas+de+buses+de+campo&hl=es-](#)

[419&sa=X&ved=0ahUKEwi_yNXss-](#)

[zjAhWmxFkKHb3nBqsQ6AEIMzAC#v=onepage&q=ventajas de buses de campo&f=false](#)

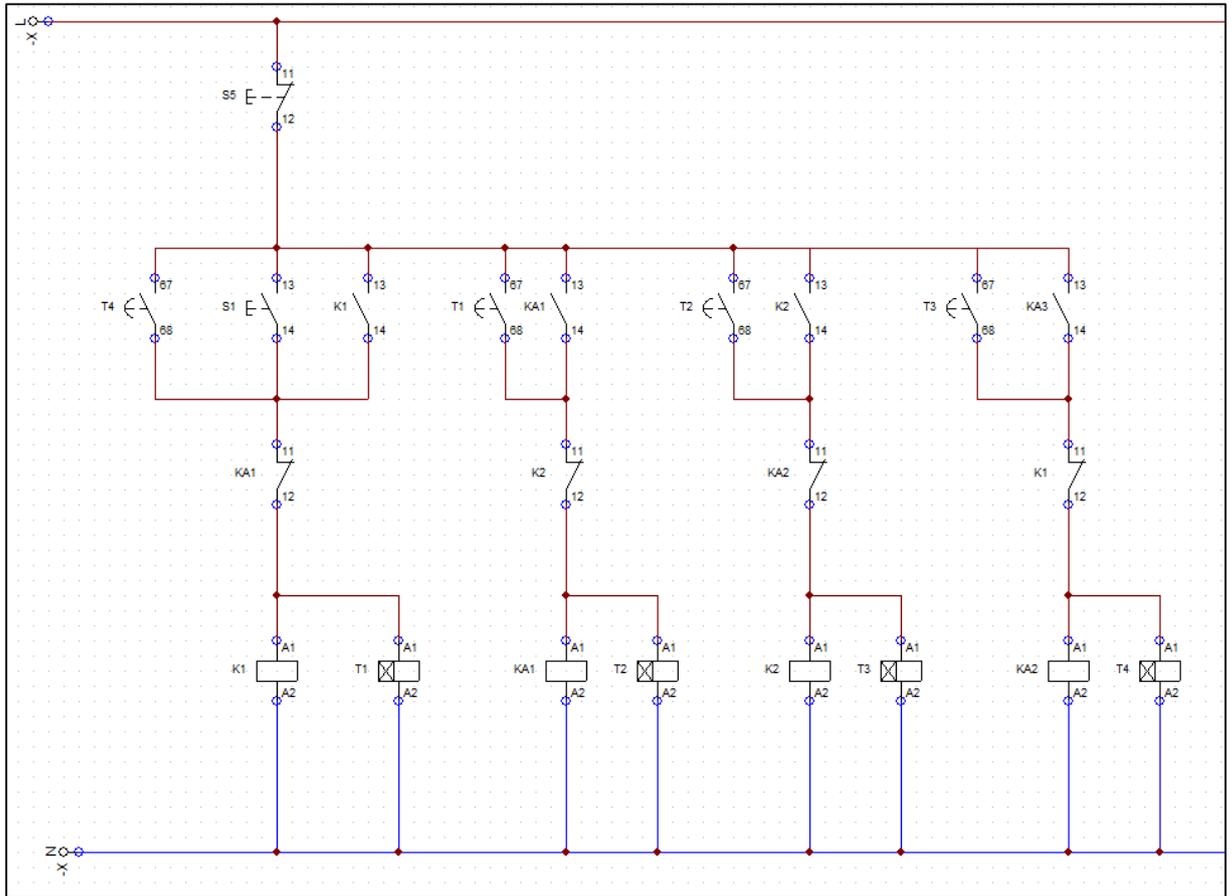
ZHANG, P. *Advanced industrial control technology*,. William Andrew/Elsevier, 2010.

ZURAWSKI, R. *Embedded systems handbook*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009.



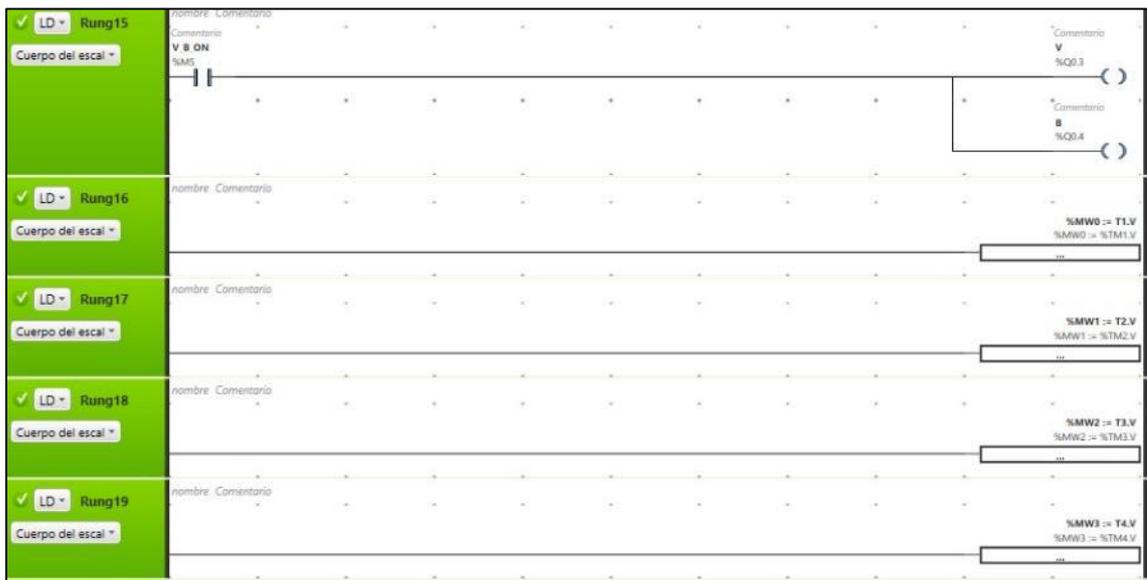
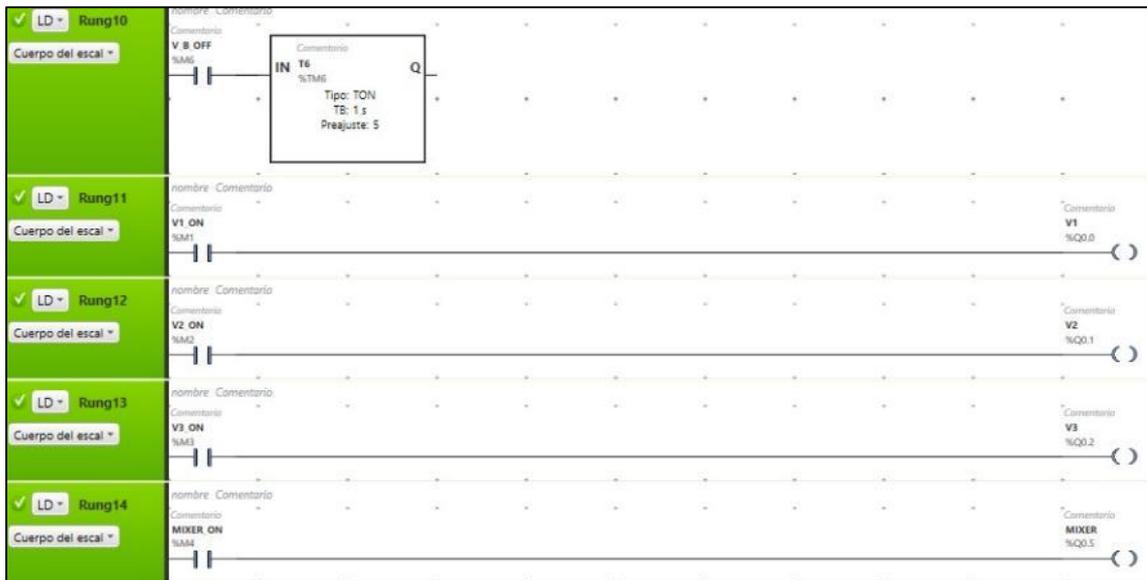
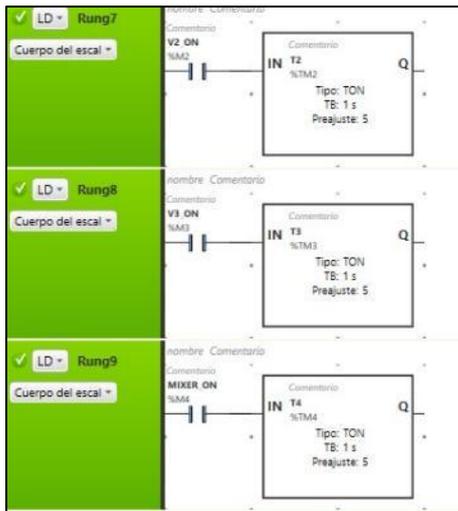
ANEXOS

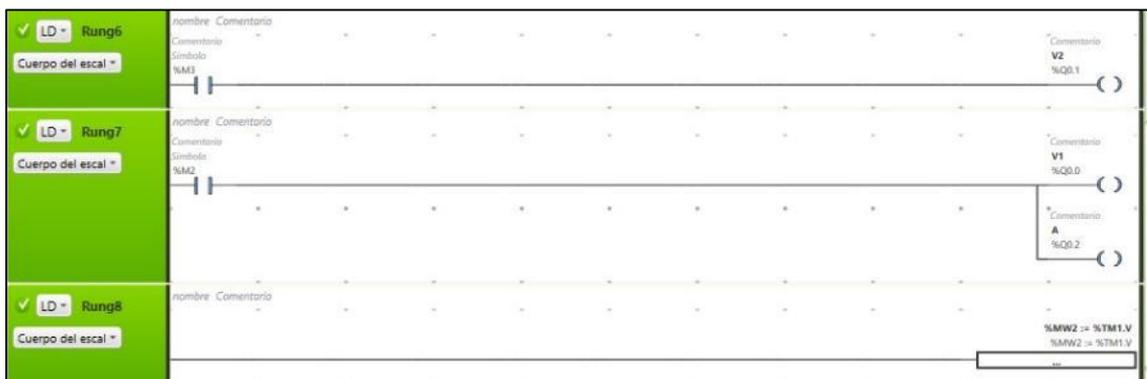
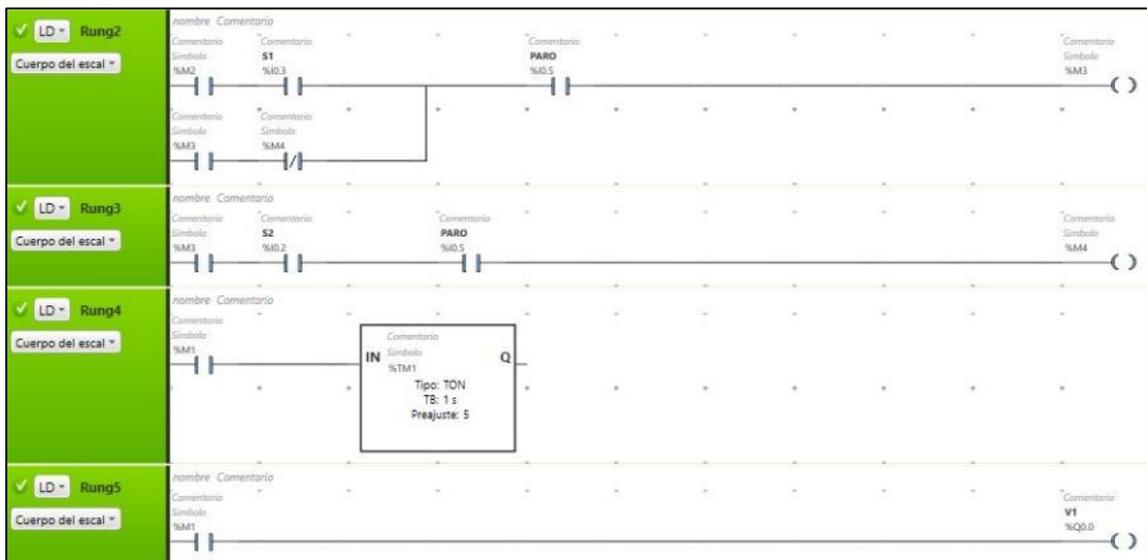
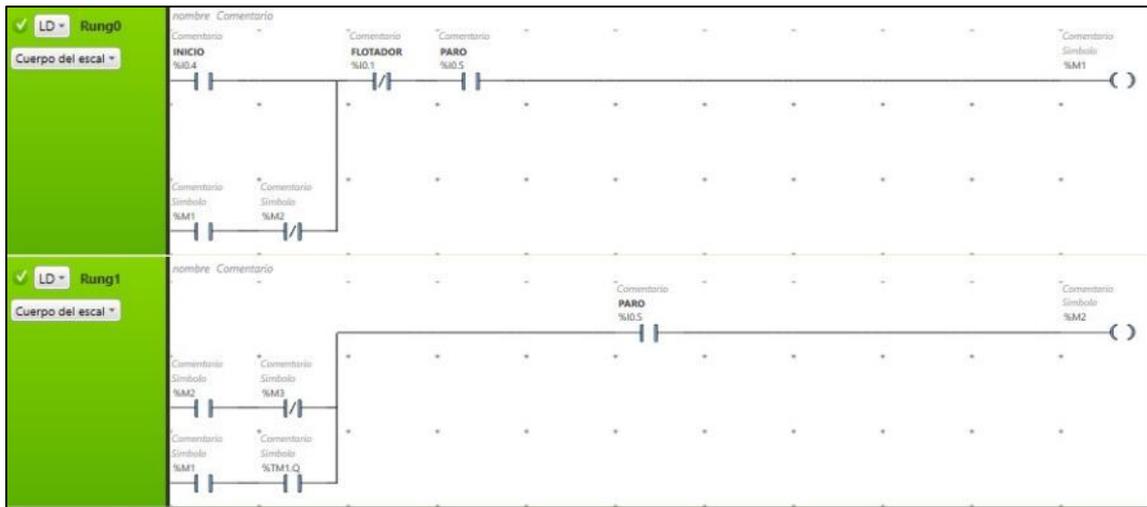
ANEXO A: Esquema eléctrico de conexión inversión de giro de motor.

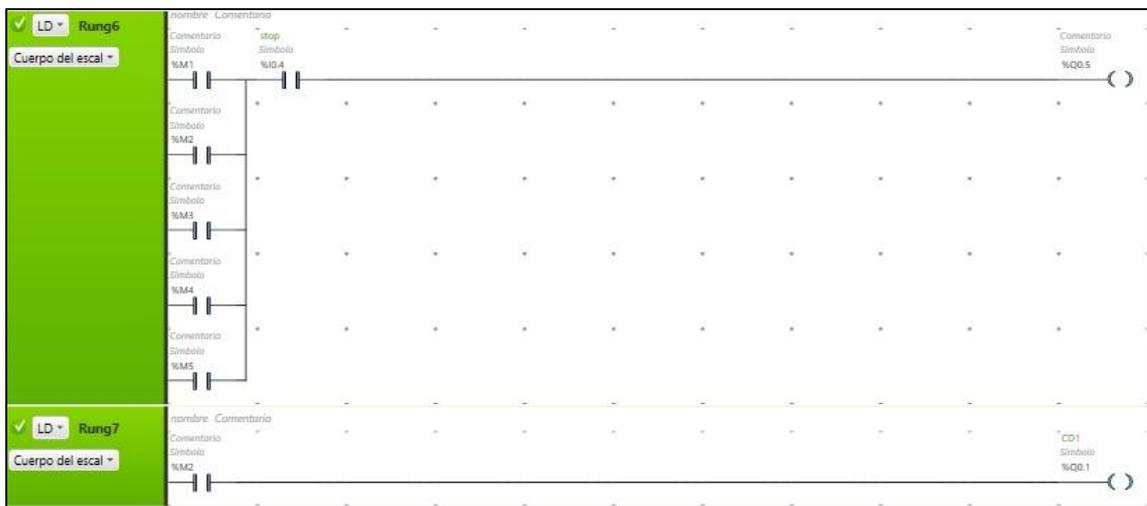
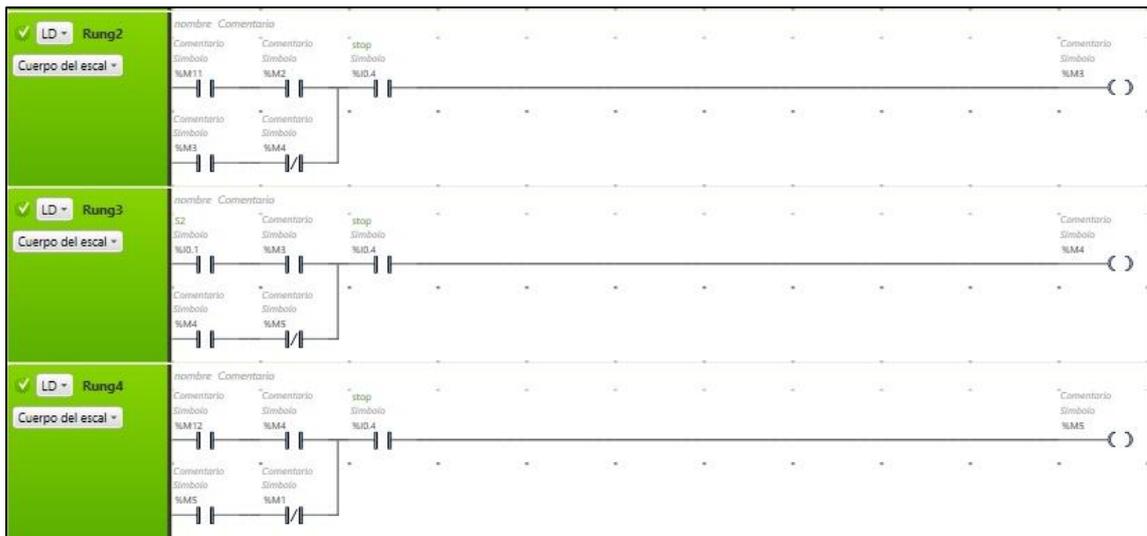


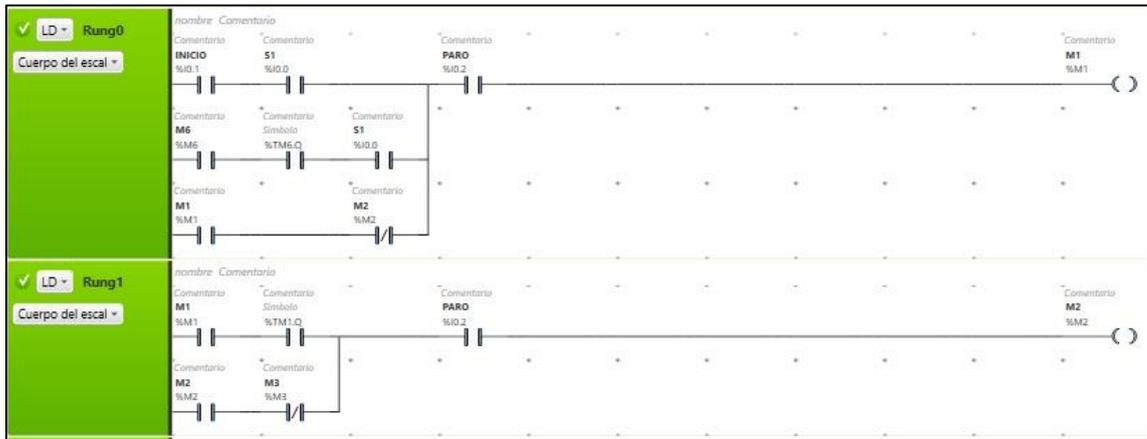
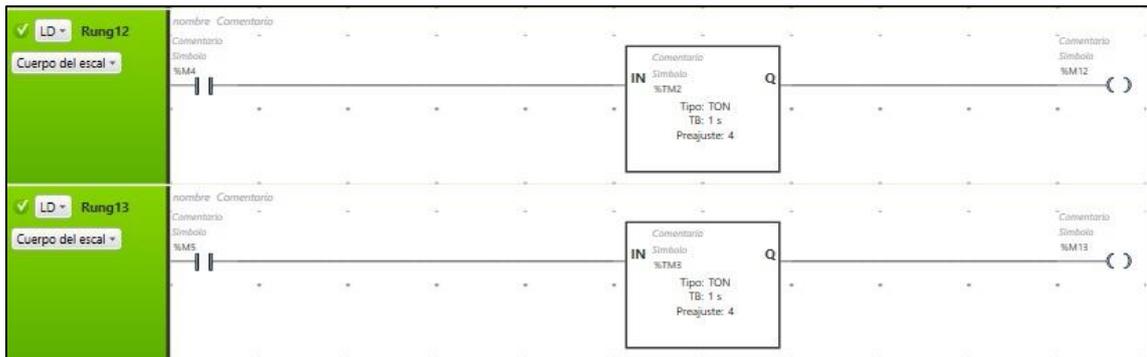
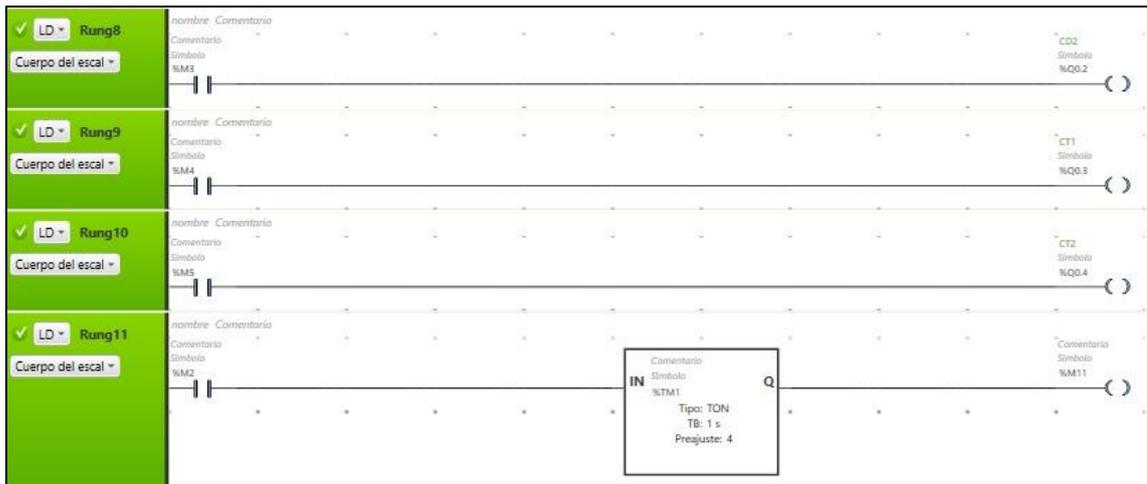
ANEXO B: Diagrama ladder de las etapas de embotellado de líquidos.

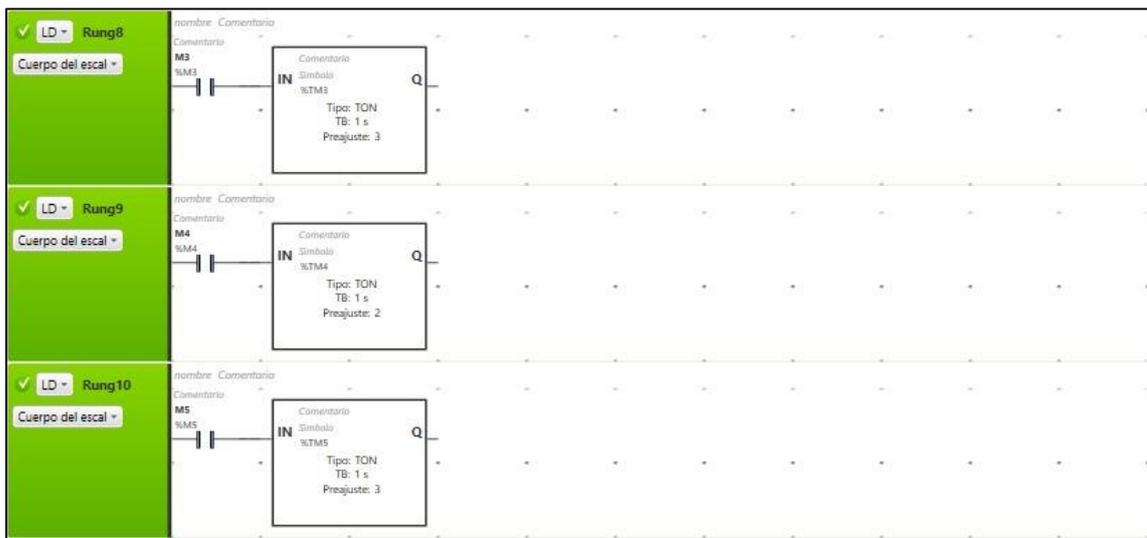
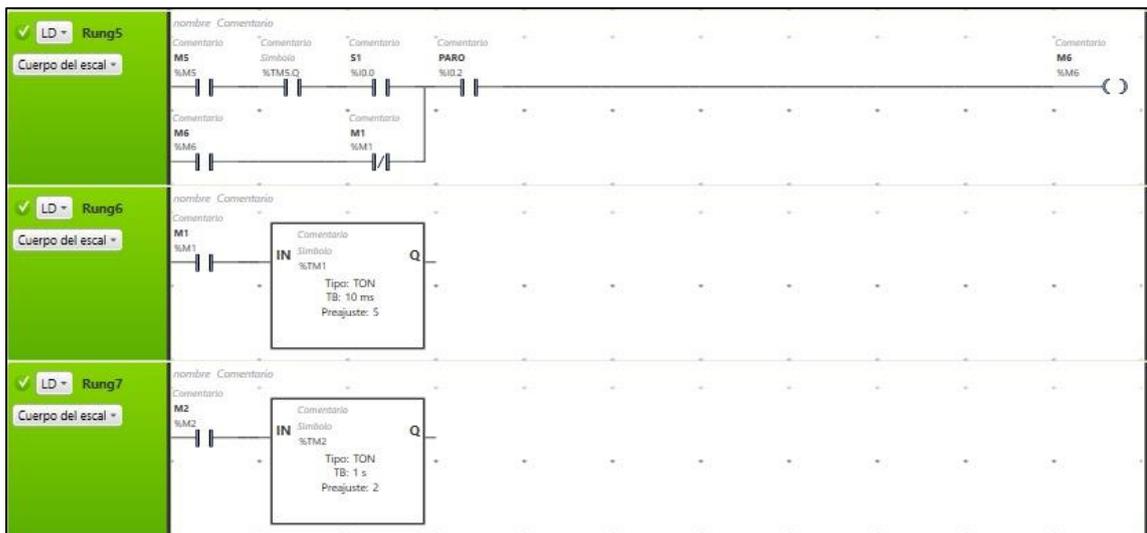
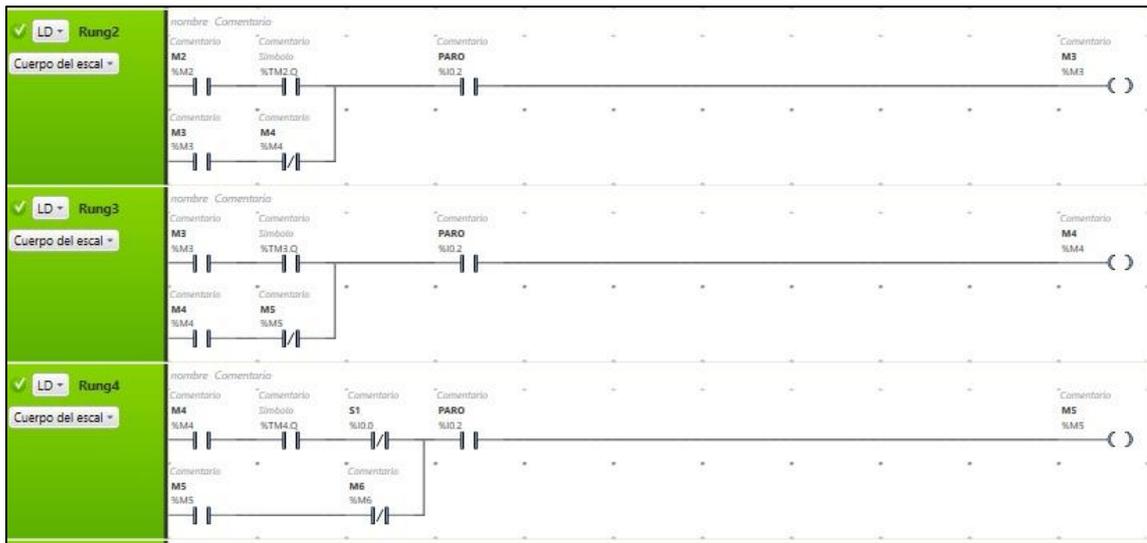


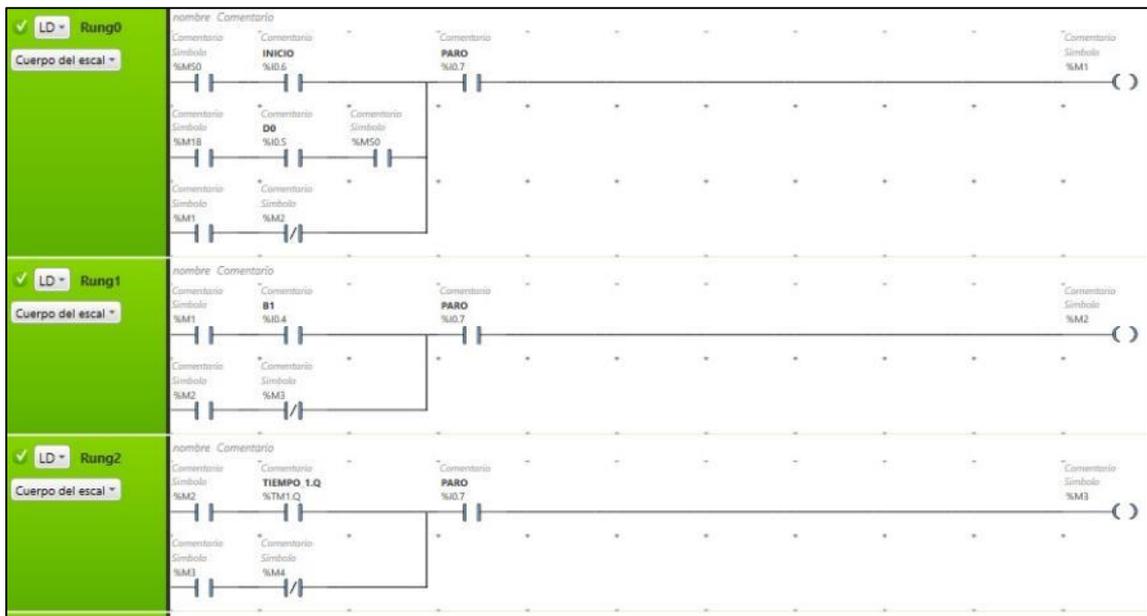
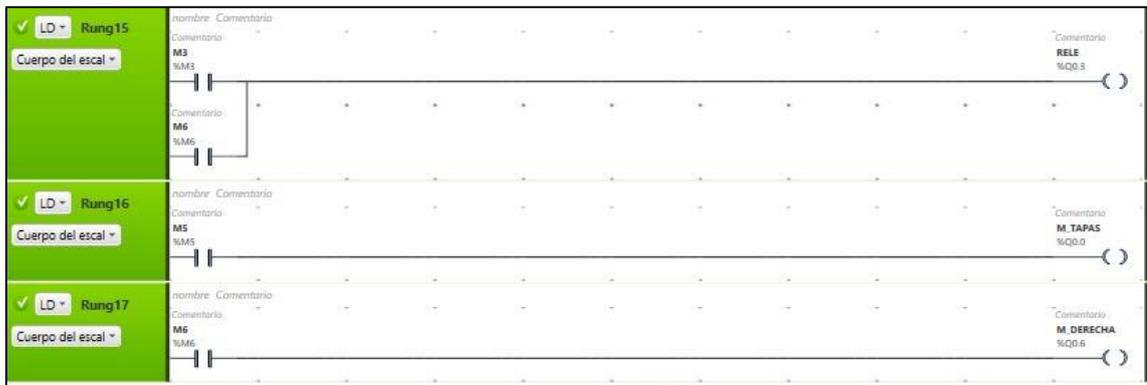
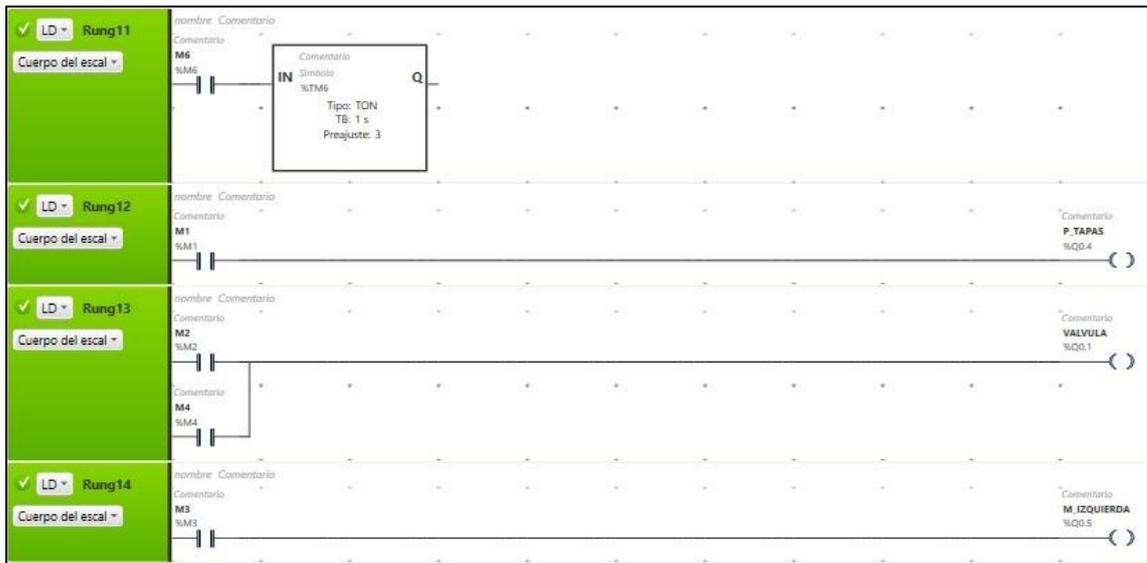


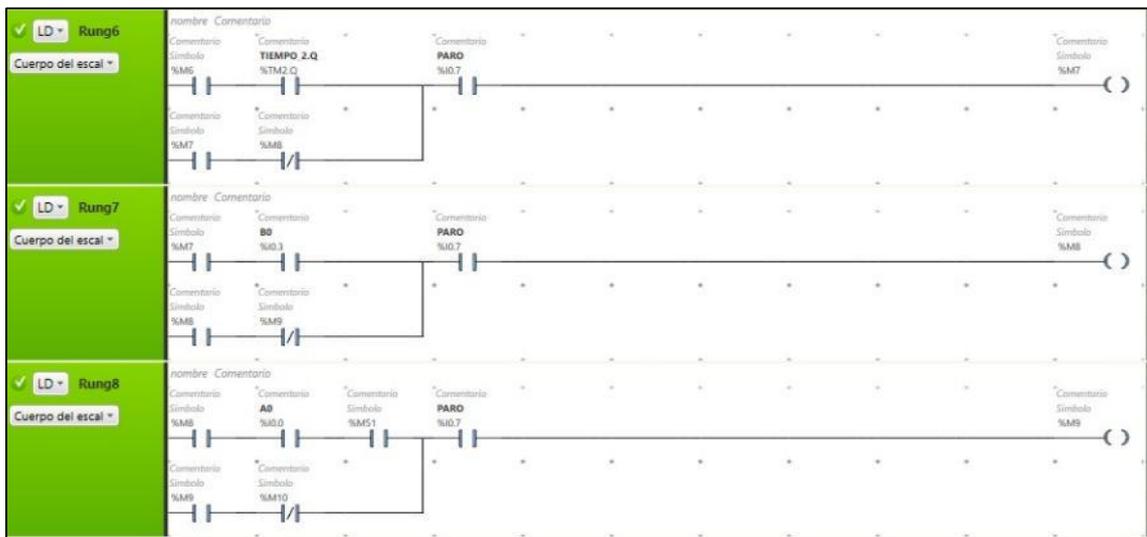


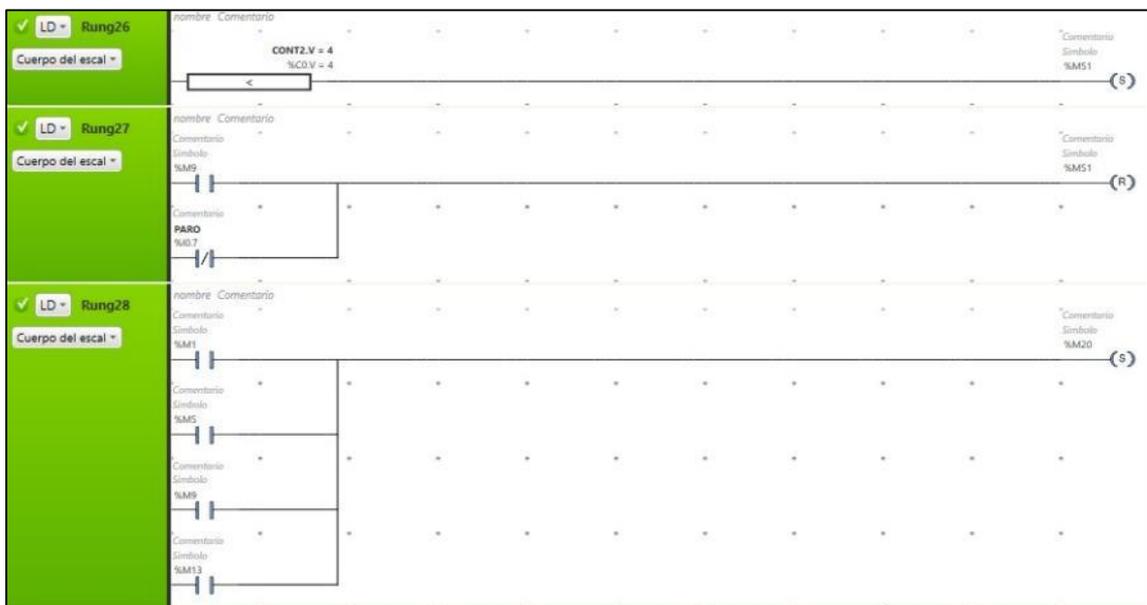
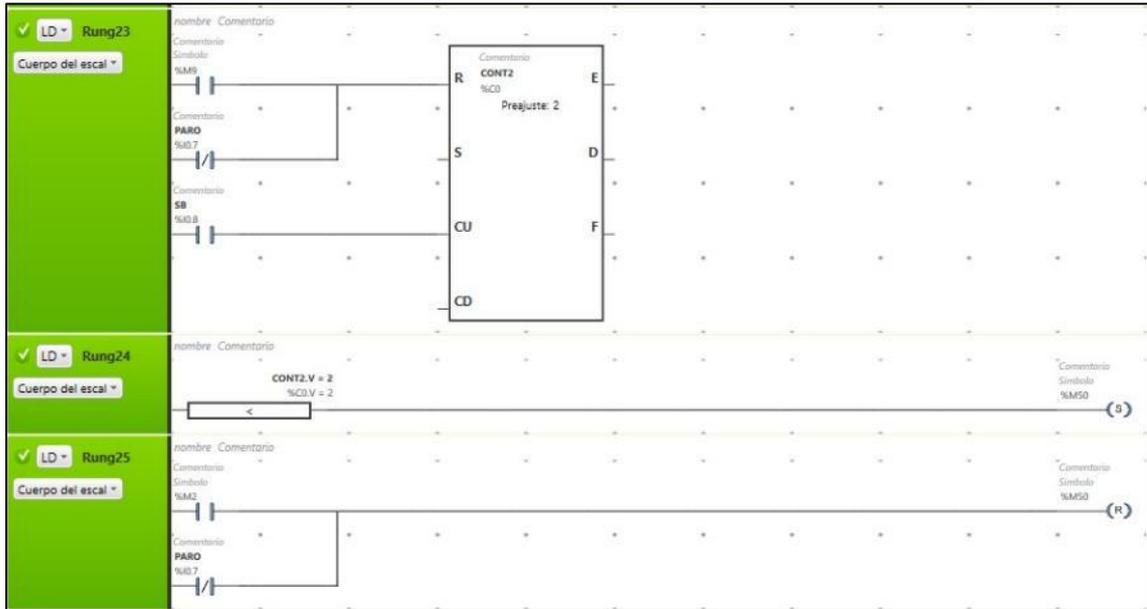
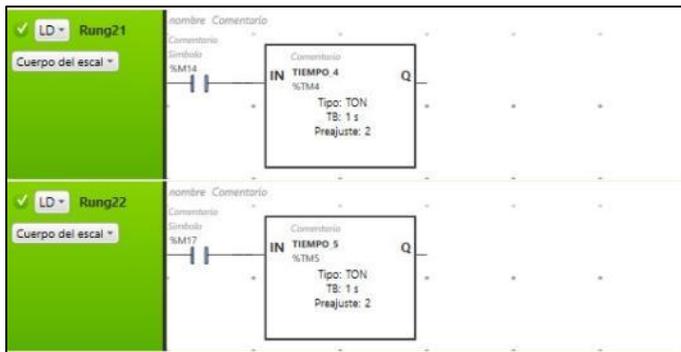


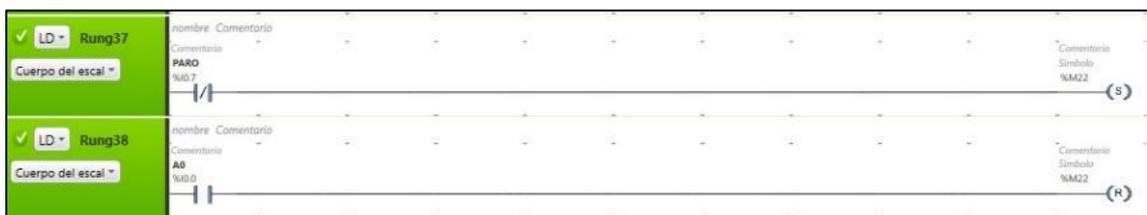
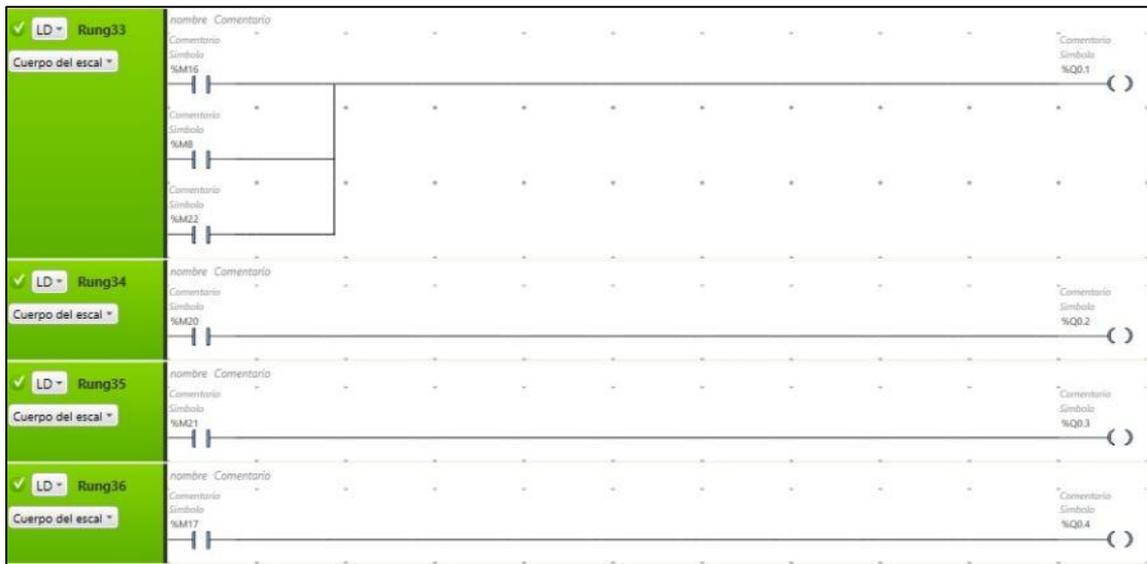
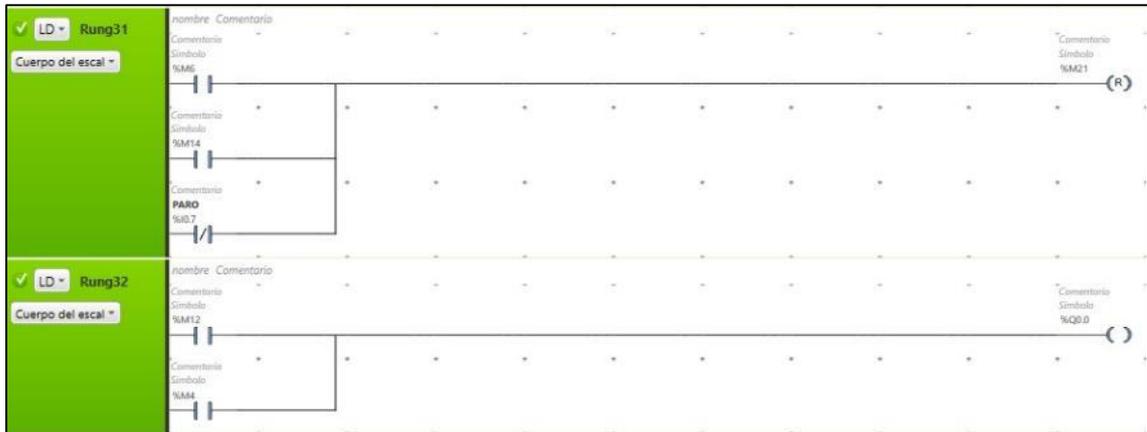
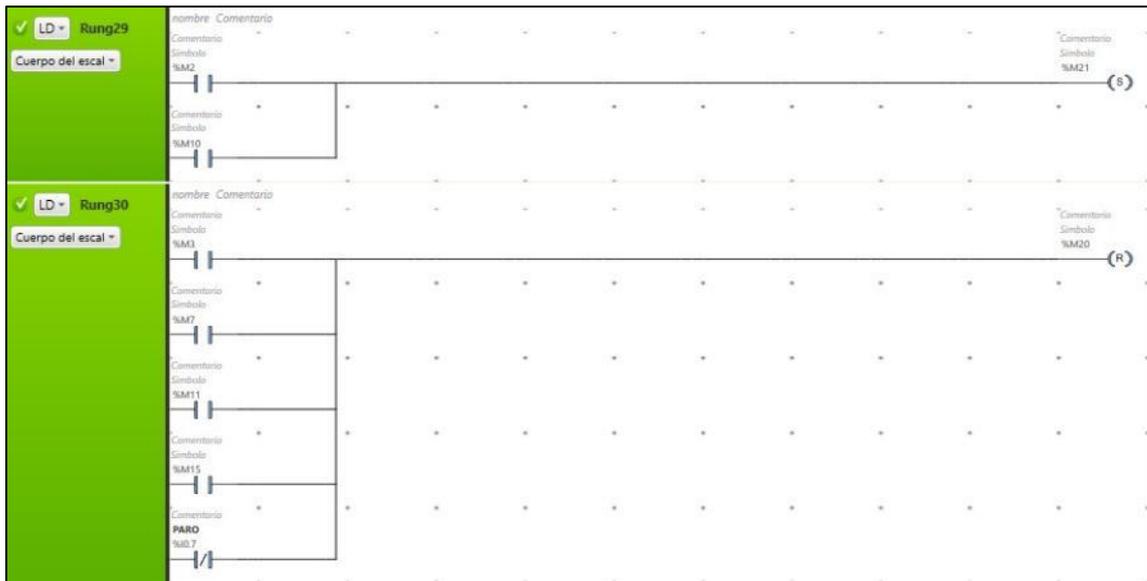










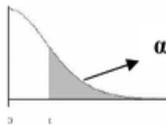


ANEXO C: Tabla de valores críticos de la distribución t de Student.

Tabla de valores críticos de la distribución t de Student



	Niveles de Significancia DOS COLA								
	0.500	0.250	0.200	0.100	0.050	0.025	0.020	0.010	0.005
1	1.00	2.41	3.08	6.31	12.71	25.45	31.82	63.66	127.32
2	0.82	1.60	1.89	2.92	4.30	6.21	6.96	9.92	14.09
3	0.76	1.42	1.64	2.35	3.18	4.18	4.54	5.84	7.45
4	0.74	1.34	1.53	2.13	2.78	3.50	3.75	4.60	5.60
5	0.73	1.30	1.48	2.02	2.57	3.16	3.36	4.03	4.77
6	0.72	1.27	1.44	1.94	2.45	2.97	3.14	3.71	4.32
7	0.71	1.25	1.41	1.89	2.36	2.84	3.00	3.50	4.03
8	0.71	1.24	1.40	1.86	2.31	2.75	2.90	3.36	3.83
9	0.70	1.23	1.38	1.83	2.26	2.69	2.82	3.25	3.69
10	0.70	1.22	1.37	1.81	2.23	2.63	2.76	3.17	3.58
11	0.70	1.21	1.36	1.80	2.20	2.59	2.72	3.11	3.50
12	0.70	1.21	1.36	1.78	2.18	2.56	2.68	3.05	3.43
13	0.69	1.20	1.35	1.77	2.16	2.53	2.65	3.01	3.37
14	0.69	1.20	1.35	1.76	2.14	2.51	2.62	2.98	3.33
15	0.69	1.20	1.34	1.75	2.13	2.49	2.60	2.95	3.29
16	0.69	1.19	1.34	1.75	2.12	2.47	2.58	2.92	3.25
17	0.69	1.19	1.33	1.74	2.11	2.46	2.57	2.90	3.22
18	0.69	1.19	1.33	1.73	2.10	2.45	2.55	2.88	3.20
19	0.69	1.19	1.33	1.73	2.09	2.43	2.54	2.86	3.17
20	0.69	1.18	1.33	1.72	2.09	2.42	2.53	2.85	3.15
21	0.69	1.18	1.32	1.72	2.08	2.41	2.52	2.83	3.14
22	0.69	1.18	1.32	1.72	2.07	2.41	2.51	2.82	3.12
23	0.69	1.18	1.32	1.71	2.07	2.40	2.50	2.81	3.10
24	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.39	2.49	2.80	3.09
25	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.38	2.49	2.79	3.08
26	0.68	1.18	1.31	1.71	2.06	2.38	2.48	2.78	3.07
27	0.68	1.18	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.77	3.06
28	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.76	3.05
29	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.36	2.46	2.76	3.04
30	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.46	2.75	3.03
31	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.45	2.74	3.02
32	0.68	1.17	1.31	1.69	2.04	2.35	2.45	2.74	3.01
33	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.01
34	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.00
35	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.44	2.72	3.00
36	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
37	0.68	1.17	1.30	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
38	0.68	1.17	1.30	1.69	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
39	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
40	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.42	2.70	2.97
	0.250	0.125	0.100	0.050	0.025	0.013	0.010	0.005	0.003



Niveles de Significancia UNA COLA