



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: “REPOTENCIACIÓN DEL PROCESO DE LLENADO Y TAPADO
PARA EL ÁREA DE MEDICAMENTOS LÍQUIDOS DEL LABORATORIO
FARMACÉUTICO LAMOSAN-FASE 1: DISEÑO Y SIMULACIÓN”**

AUTOR: GORDILLO SOLÓRZANO, CRISTIAN DAVID

DIRECTOR: ING. ORTIZ TULCÁN, HUGO RAMIRO, M.Sc.

SANGOLQUÍ

2019

CERTIFICADO DEL DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“REPOTENCIACIÓN DEL PROCESO DE LLENADO Y TAPADO PARA EL ÁREA DE MEDICAMENTOS LÍQUIDOS DEL LABORATORIO FARMACÉUTICO LAMOSAN-FASE 1: DISEÑO Y SIMULACIÓN”**, fue realizado por el señor *Gordillo Solórzano, Cristian David* y fue culminado en su totalidad, el mismo que ha sido revisado conjuntamente en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 12 de julio del 2019

Ing. Hugo Ramiro Ortiz Tulcan Msc.

DIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Gordillo Solórzano, Cristian David* declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**REPOTENCIACIÓN DEL PROCESO DE LLENADO Y TAPADO PARA EL ÁREA DE MEDICAMENTOS LÍQUIDOS DEL LABORATORIO FARMACÉUTICO LAMOSAN-FASE 1: DISEÑO Y SIMULACIÓN**”, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciado las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 12 de julio del 2019

Gordillo Solórzano Cristian David

C.C.: 1725800161

AUTORIZACIÓN



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo *Gordillo Solórzano, Cristian David*, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“REPOTENCIACIÓN DEL PROCESO DE LLENADO Y TAPADO PARA EL ÁREA DE MEDICAMENTOS LÍQUIDOS DEL LABORATORIO FARMACÉUTICO LAMOSAN-FASE 1: DISEÑO Y SIMULACIÓN”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 12 de julio del 2019

Gordillo Solórzano Cristian David

C.C.: 1725800161

DEDICATORIA

A Dios por haberme bendecido durante todo mi trayecto estudiantil.

A mi madre, Mayra por ser mi apoyo y pilar fundamental para culminar mis estudios, brindándome su amor, paciencia y confianza incondicional.

A mi abuelita, Mary por todo el cariño, los valores que me ha inculcado y principalmente porque sé que tengo un apoyo adicional y enorme en mi vida.

A mis hermanos, Juan Pablo y Karol por darme su apoyo e impulsarme a cumplir este gran logro.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme toda la sabiduría, fuerza e inteligencia para poder culminar mis estudios universitarios.

Le doy las gracias a mi madre por confiar tanto en mí, por apoyarme mientras más lo necesitaba, gracias por todo y por enseñarme que aunque las cosas parezcan imposibles nunca hay que rendirse y seguir dando todo para conseguir llegar a la meta. Madre eres mi ejemplo a seguir.

A mi abuelita por su amor, su comida que siempre me tiene lista y más que todo porque siempre estoy presente en sus oraciones pidiendo a Dios por mi bienestar.

A mi hermanos Juan Pablo, porque siempre ha estado pendiente de mí y sé que cuando necesite algo él va a estar ahí para mí. A mi hermana Karol, por hacerme reír con sus ocurrencias y ser una persona en la que puedo confiar.

A mi enamorada Jessi, por impulsarme todos los días a ser una mejor persona, por sus consejos que me han ayudado y porque nunca ha dejado de creer en mí.

Al ingeniero Hugo Ortiz por haberme guiado durante todo el trayecto de mi trabajo de tesis, por el tiempo que invirtió y me ayudo para salir adelante con el proyecto.

Al ingeniero Rodolfo Moral por abrirme las puertas de su empresa, por la calidad de persona que representa y haberme dado la confianza para el desarrollo del proyecto.

Cristian David Gordillo Solórzano

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e importancia.....	2
1.3 Alcance del proyecto.....	4
1.3.1 Diseño del sistema de control para el llenado y tapado de medicamentos líquidos.....	4
1.3.2 Simulación del sistema automatizado	8
1.4 Objetivos	8
1.4.1 Objetivo General	8
1.4.2 Objetivos Específicos.....	8
1.5 Descripción del proyecto.....	9
CAPÍTULO II	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1 Automatización en la industria farmacéutica	11
2.1.1 Máquina de llenado y tapado de medicamentos líquidos.....	12
2.2 Automatización industrial	12
2.2.1 Sistemas automatizados.....	13
2.2.2 Sistemas de control.....	14
2.2.3 Controlador lógico programable	16

	vii
2.2.4 Niveles de automatización	17
2.3 Definición de equipos e instrumentación industrial	18
2.3.1 Sensores.....	19
2.3.2 Accionadores y actuadores.....	24
2.3.3 Pre-accionadores	26
2.4 Protocolos de comunicaciones industriales.....	27
2.4.1 Modelo OSI.....	28
2.4.2 TCP/IP (Protocolo de control de transmisión /Protocolo de internet)	29
2.4.3 Características de los protocolos más usados en el entorno industrial.....	30
2.5 Interfaz Humano Máquina	32
2.6 OPC.....	34
2.7 Norma ISA 101	36
2.8 Norma ISA 101	37
2.8.1 Ciclo de vida ISA 101 para HMI	37
2.8.2 Ingeniería de factores humanos y ergonomía.....	42
2.8.3 Tipos de pantallas y estructura general del HMI.....	43
2.8.4 Interacción con el usuario	43
CAPÍTULO III	45
DISEÑO DEL SISTEMA	45
3.1 Situación actual de la máquina de llenado y tapado.....	45
3.2 Requerimientos del sistema.....	48
3.2.1 Requerimientos de Hardware	48
3.2.2 Requerimientos de software	50
3.2.3 Requerimientos de red.....	50
3.3 Descripción de la solución	51
3.3.1 Análisis de las señales a nivel de campo.....	52
3.3.2 Análisis del controlador y software.....	55
3.4 Diagrama de flujo de proceso.....	64
3.5 Diagrama unifilar	66
3.6 Diseño del sub sistema de instrumentación.....	67

	viii
3.7 Diagramas del proceso.....	72
3.7.1 Diagrama Unifilar	72
3.7.2 Diagrama P&ID.....	72
3.7.3 Diagrama de Potencia.....	73
3.7.4 Diagrama de control entradas discretas.....	74
3.7.5 Diagrama de control salidas discretas	76
3.7.6 Diagrama de control salida analógica	77
3.7.7 Diagrama de control controlador de nivel.....	78
3.7.8 Diagrama de control variadores de frecuencia.....	78
3.7.9 Diagramas Neumáticos	79
3.7.10 Diagrama del tablero eléctrico	80
3.8 Diseño de la red del sistema.....	87
3.9 Selección de los componentes.....	88
3.9.1 Pulsadores, interruptores y luces piloto.....	88
3.9.2 Elementos de protección, motor y variadores de frecuencia.....	94
3.9.3 Elementos de pre accionamiento.....	98
3.9.1 Conductores eléctricos	100
3.9.2 Borneras	101
3.9.3 Tapadora eléctrica	102
3.9.4 PLC, módulos y Fuente.....	103
3.9.5 Sensores.....	108
3.9.6 Válvula de solenoide	113
3.9.7 Electroválvulas neumáticas	114
3.9.8 Electroválvula proporcional	116
3.9.9 Válvula de llenado de actuador neumático	117
3.9.10 Actuadores neumáticos	118
3.9.11 Conmutador de Ethernet industrial	123
3.10 Requerimientos de software	123
3.10.1 SIMAMTIC STEP 7 TIA Portal V13	124
3.10.2 Wonderware Intouch.....	125

3.10.3	KEPServerEX 6.....	126
3.10.4	Microsoft Excel	127
CAPITULO IV		129
DESARROLLO DE SOFTWARE		129
4.1	Lógica de control.....	129
4.1.1	Grafcet del funcionamiento del proceso.....	129
4.1.2	Grafcets esclavos.....	133
4.2	HMI	139
4.2.1	Arquitectura de pantallas.....	139
4.2.2	Navegación de pantallas.....	141
4.2.3	Distribución de pantallas.....	141
4.2.4	Niveles de acceso	145
4.2.5	Formato del texto	145
4.2.6	Uso de color	145
4.2.7	Alarmas	147
CAPITULO V		148
SIMULACIÓN DEL SISTEMA		148
5.1	Desarrollo de la simulación.....	148
5.2	Simulación del programa para el control del sistema	149
5.3	Simulación de HMI.....	157
5.3.1	Acceso	157
5.3.2	Menú.....	158
5.3.3	Configuración.....	158
5.3.4	Control.....	159
5.3.5	Alarmas	160
5.3.6	Real time	160
5.4	Información compartida con Excel	160
5.5	Pruebas del software de simulación	162
5.5.1	Lógica de control.....	162
5.5.2	Comunicación.....	163

	x
5.5.3 HMI	163
5.5.4 Excel.....	164
CAPITULO VI	166
ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	166
6.1 Presupuesto.....	166
6.2 Análisis costo-beneficio	166
CAPITULO VII	170
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	170
7.1 Conclusiones	170
7.2 Recomendaciones.....	171
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	172

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características de protocolos de comunicación</i>	31
Tabla 2 <i>Lista de salidas discretas</i>	52
Tabla 3 <i>Lista de entradas discretas</i>	54
Tabla 4 <i>Características del PLC S7-1500</i>	56
Tabla 5 <i>Características del PLC S7-1200</i>	56
Tabla 6 <i>Características del PLC Logo</i>	57
Tabla 7 <i>Matriz de priorización</i>	58
Tabla 8 <i>Matriz de priorización</i>	61
Tabla 9 <i>Matriz de priorización</i>	63
Tabla 10 <i>Descripción de la simbología del diagrama unifilar</i>	66
Tabla 11 <i>Descripción señales eléctricas de PLC</i>	71
Tabla 12 <i>Descripción de sensores</i>	75
Tabla 13 <i>Descripción salidas PLC</i>	77
Tabla 14 <i>Elementos en el control de nivel</i>	78
Tabla 15 <i>Lógica de las velocidades</i>	79
Tabla 16 <i>Componentes neumáticos</i>	80
Tabla 17 <i>Dimensiones de los equipos</i>	80
Tabla 18 <i>Descripción de materiales</i>	85
Tabla 19 <i>Descripción de materiales</i>	87
Tabla 20 <i>Pulsador verde</i>	89
Tabla 21 <i>Pulsador azul</i>	90
Tabla 22 <i>Pulsador paro de emergencia</i>	91
Tabla 23 <i>Baliza</i>	92
Tabla 24 <i>Interruptor</i>	93
Tabla 25 <i>Motores</i>	94
Tabla 26 <i>Guarda motor</i>	95
Tabla 27 <i>Disyuntor trifásico</i>	96
Tabla 28 <i>Variador de frecuencia</i>	96
Tabla 29 <i>Disyuntor</i>	97
Tabla 30 <i>Contactor</i>	98
Tabla 31 <i>Relé</i>	99
Tabla 32 <i>Conductor para circuito de fuerza</i>	100
Tabla 33 <i>Conductor para instrumentación y control</i>	101
Tabla 34 <i>Bornera</i>	102
Tabla 35 <i>Tapadora eléctrica</i>	103
Tabla 36 <i>Especificaciones técnicas PLC S7-1200</i>	103
Tabla 37 <i>Módulo de entradas y salidas discretas</i>	105
Tabla 38 <i>Módulo de salidas analógicas</i>	106
Tabla 39 <i>Fuente de 24 V DC</i>	107
Tabla 40 <i>Sensor tipo flotador</i>	108
Tabla 41 <i>Controlador de nivel</i>	109

Tabla 42 <i>Sensor capacitivo</i>	110
Tabla 43 <i>Sensor fotoeléctrico</i>	111
Tabla 44 <i>Sensor magnético</i>	112
Tabla 45 <i>Válvula de solenoide</i>	113
Tabla 46 <i>Electroválvulas neumáticas 3/2</i>	114
Tabla 47 <i>Electroválvulas neumáticas 5/2</i>	115
Tabla 48 <i>Electroválvula proporcional</i>	116
Tabla 49 <i>Válvula de llenado de actuador neumático</i>	117
Tabla 50 <i>Cilindro neumático</i>	118
Tabla 51 <i>Actuador giratorio</i>	119
Tabla 52 <i>Pinza neumática</i>	120
Tabla 53 <i>Dedos de adaptación automática</i>	121
Tabla 54 <i>Cilindro neumático</i>	122
Tabla 55 <i>Conmutador Ethernet industrial</i>	123
Tabla 56 <i>Requerimientos de hardware y software</i>	124
Tabla 57 <i>Especificaciones técnicas</i>	126
Tabla 58 <i>Descripción de variables Grafcet principal</i>	131
Tabla 59 <i>Descripción de variables Grafcet de emergencia</i>	134
Tabla 60 <i>Descripción de variables Grafcet de pausa</i>	135
Tabla 61 <i>Descripción de variables Grafcet de la Alarma 1</i>	136
Tabla 62 <i>Descripción de variables Grafcet de la Alarma 2</i>	137
Tabla 63 <i>Descripción de variables Grafcet de la Alarma 3</i>	138
Tabla 64 <i>Descripción de variables Grafcet de velocidad</i>	139
Tabla 65 <i>Colores de los componentes de la HMI</i>	145
Tabla 66 <i>Colores de las tendencias</i>	146
Tabla 67 <i>Descripción de Software</i>	148
Tabla 68 <i>Pruebas de la lógica de control</i>	162
Tabla 69 <i>Pruebas de comunicación</i>	163
Tabla 70 <i>Pruebas del HMI</i>	164
Tabla 71 <i>Pruebas de la interfaz de Excel</i>	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Jerarquía ventanas HMI.....	7
Figura 2. Topología de red.....	7
Figura 3. Estructura sistema automatizado	14
Figura 4. Sistema de control de lazo abierto	15
Figura 5. Sistema de control de lazo cerrado	15
Figura 6. Pirámide de Automatización.....	18
Figura 7. Finales de carrera.....	19
Figura 8. Sensor Inductivo	20
Figura 9. Sensor capacitivo	21
Figura 10. Sensor Ultrasónico.....	22
Figura 11. Sensor magnético.....	23
Figura 12. Sensor fotoeléctrico	23
Figura 13. Actuadores neumáticos: a) rotativo y b) lineal	24
Figura 14. Actuadores eléctricos: a) Motor AC, b) Motor DC, c) Electroválvula, d) Resistencia eléctrica	25
Figura 15. Comparación modelo OSI vs modelo TCP/IP.....	30
Figura 16. HMI.....	34
Figura 17. Comunicación entre fuentes y receptores de datos por medio del OPC.....	35
Figura 18. Modelo cliente/servidor de OPC.	36
Figura 19. Ciclo de vida HMI	38
Figura 20. Arquitectura del sistema Automatizado.....	51
Figura 21. Diagrama de flujo del proceso	65
Figura 22. Preparación y distribución del jarabe	68
Figura 23. Válvulas overflow.....	68
Figura 24. Dispensador de botellas	69
Figura 25. Banda transportadora principal.....	70
Figura 26. PLC	71
Figura 27. Conexión sensor de 3 hilos	75
Figura 28. Conexión sensor de 2 hilos	76
Figura 29. Sección de alimentación y protección del sistema	82
Figura 30. Alimentación del PLC, sensores y entradas del PLC	82
Figura 31. Tablero eléctrico	84
Figura 32. Equipos de control	83
Figura 33. Pre accionadores y protección de motores.....	83
Figura 34. Salidas del sistema.....	83
Figura 35. Panel de control	87
Figura 36. Estructura de la red	88
Figura 37. Pulsador verde para inicio de proceso	89
Figura 38. Pulsador azul para pausa de proceso	90
Figura 39. Pulsador paro de emergencia	91
Figura 40. Balizas.....	92

Figura 41. Interruptor	93
Figura 42. Motor trifásico	94
Figura 43. Guarda motor	95
Figura 44. Disyuntor trifásico	96
Figura 45. Variador de frecuencia.....	97
Figura 46. Disyuntor	98
Figura 47. Contactor.....	99
Figura 48. Relé.....	100
Figura 49. Bornera para conexión	102
Figura 50. Tapadora eléctrica.....	103
Figura 51. PLC S7-1200	104
Figura 52. Módulo de entradas y salidas digitales	105
Figura 53. Módulo de salidas analógicas	106
Figura 54. Fuente de 24 V DC	107
Figura 55. Sensor de nivel tipo flotador.....	108
Figura 56. Controlador de nivel	109
Figura 57. Sensor capacitivo	110
Figura 58. Sensor fotoeléctrico	111
Figura 59. Sensor magnético.....	112
Figura 60. Válvula de solenoide.....	113
Figura 61. Electroválvula neumática.....	115
Figura 62. Electroválvulas neumáticas 5/2	116
Figura 63. Válvula proporcional	117
Figura 64. Válvula de llenado de actuador neumático.....	118
Figura 65. Cilindro neumático simple efecto.....	119
Figura 66. Actuador giratorio.....	120
Figura 67. Mordaza neumática.....	121
Figura 68. Dedos de adaptación automática	122
Figura 69. Cilindro neumático	122
Figura 70. Conmutador Ethernet industrial.....	124
Figura 71. Grafcet principal G1	130
Figura 72. Grafcet de emergencia G2	133
Figura 73. Grafcet de pausa G3.....	134
Figura 74. Grafcet Alarma 1	135
Figura 75. Grafcet Alarma 2	136
Figura 76. Grafcet Alarma 3	137
Figura 77. Grafcet de velocidad.....	138
Figura 78. Arquitectura de pantallas	140
Figura 79. Navegación de pantallas.	141
Figura 80. Plantilla acceso	142
Figura 81. Plantilla menú	142
Figura 82. Plantilla configuración.....	143
Figura 83. Plantilla control.....	143

Figura 84. Plantilla alarmas.....	144
Figura 85. Plantilla real time.....	144
Figura 86. Proceso sin funcionar.....	150
Figura 87. Configuración de parámetros del sistema.....	151
Figura 88. Inicio llenado	152
Figura 89. Llenado de botellas	152
Figura 90. Fin de llenado de botellas	153
Figura 91. Tapado de botellas	154
Figura 92. Fin de tapado de botellas	155
Figura 93. Zona de calidad.....	155
Figura 94. Llenado de tanque.....	156
Figura 95. Paro de emergencia.....	156
Figura 96. Pantalla de acceso	157
Figura 97. Pantalla de menú.....	158
Figura 98. Pantalla de configuración	159
Figura 99. Pantalla de control	159
Figura 100. Pantalla de alarmas	160
Figura 101. Pantalla de real time.....	161
Figura 102. Interfaz de Excel	161

RESUMEN

Con el paso del tiempo y del desarrollo tecnológico, la automatización es de vital importancia en la industria farmacéutica. La integración de tecnología en la industria tiene como finalidad mejorar la producción, reducir errores y garantizar la seguridad del personal que se encuentran monitoreando y supervisando los procesos productivos. El presente proyecto tiene como finalidad la repotenciación del proceso de llenado y tapado del área de medicamentos líquidos del laboratorio farmacéutico LAMOSAN. Consiste en reemplazar toda la tecnología anticuada y obsoleta, por una más robusta, fiable, escalable, y realizar la automatización el proceso a través de un sistema SCADA. El proyecto consta de dos etapas, la primera es el diseño del sistema de control en donde se especificará la instrumentación, la elaboración de planos eléctricos y diagramas P&ID, el desarrollo del programa para el PLC y un sistema HMI SCADA con el cual se va a poder realizar la supervisión, monitoreo y control del proceso. En la segunda etapa se realizará la simulación en donde se podrá visualizar el funcionamiento del proceso y de la lógica de control utilizando la herramienta Wonderware InTouch.

PALABRAS CLAVE

- **AUTOMATIZACIÓN**
- **PROCESOS**
- **REPOTENCIACIÓN**

ABSTRACT

With the passage of time and technological development, automation is of vital importance in the pharmaceutical industry. The purpose of the integration of technology in the industry is to improve production, reduce errors and guarantee the safety of the personnel who are monitoring and supervising the production processes. The purpose of this project is the repowering of the filling and capping process of the liquid medicines area of the LAMOSAN pharmaceutical laboratory. It consists of replacing all obsolete and outdated technology with a more robust, reliable, scalable one, and automate the process through a SCADA system. The project consists of two stages, the first is the design of the control system where the instrumentation will be specified, the preparation of electrical drawings and P & ID diagrams, the development of the program for the PLC and a HMI SCADA system with which it will be able to perform the supervision, monitoring and control of the process. In the second stage, the simulation will be performed where the process operation and the control logic can be visualized using the Wonderware InTouch tool.

KEYWORDS

- **AUTOMATION**
- **PROCESSES**
- **REPOWER**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Laboratorio Farmacéutico LAMOSAN es una empresa ecuatoriana la cual se dedica a la fabricación de medicamentos para uso humano. Fue fundada el 24 de septiembre de 1973(LAMOSAN, 2013). La empresa surgió gracias al esfuerzo del doctor Antonio Moral y la doctora Mercedes Sánchez; por eso el nombre de LAMOSAN que resulta de la unión de los apellidos de la pareja. Al culminar sus estudios de químicos en la Universidad Central del Ecuador empezaron a producir su primer producto que se llama Topident, en la residencia donde vivían hasta culminar sus carreras. Todo lo realizaban de forma casera con ollas, tubos de ensayo y principalmente con el conocimiento adquirido por sus estudios.

LAMOSAN con el paso del tiempo ha ido introduciendo alta tecnología en sus procesos de fabricación y control de calidad de los medicamentos, lo que le ha permitido exportar sus productos desde Ecuador a otros países de la región.

En la actualidad tienen 3 sucursales que se localizan en Quito, Guayaquil y Cuenca, la sucursal principal queda ubicada en Quito sector de Pusuquí, aquí se encuentra la planta donde se realizan los medicamentos tanto para la distribución nacional como para exportación (Bolivia, Colombia y Perú) y también el grupo administrativo, marketing y gerencial.

El laboratorio farmacéutico LAMOSAN, produce una gran cantidad y variedad de medicamentos como por ejemplo, pastillas, cremas, polvos y líquidos. Los medicamentos que tienen más demanda son los líquidos como enjuagues bucales, antitusivos y multivitámicos(LAMOSAN, 2013). Para la elaboración de los medicamentos anteriormente mencionados cuentan con laboratorios especializados en donde se realizan las fórmulas necesarias y las máquinas para el llenado y tapado de cada medicamento.

Las máquinas que disponen para el proceso de llenado y tapado cumplen con su función, el objetivo principal de la empresa es lograr aumentar la producción para que de esta manera exista más exportaciones y expandirse más.

1.2 Justificación e importancia

El laboratorio farmacéutico LAMOSAN cuenta con la máquina que llena y tapa los medicamentos líquidos, pero es una máquina que tiene tecnología antigua ,no es fácil armar y no tiene una producción rápida, pero gracias a los mantenimientos que se la realiza puede cumplir con los pedidos de producción.

En el proceso de llenado y tapado existe muchos tiempos muertos debido a algunos parámetros de la máquina entre los cuales se tiene:

- Para seleccionar la cantidad de líquido que se va a llenar, se lo hace de forma manual con una palanca, y para dejar calibrado es necesario realizar algunas pruebas, lo cual representa demasiado tiempo solo en calibrar la cantidad de líquido a llenar.
- Cuando las botellas llegan a la etapa de llenado, ingresan 7 botellas de las cuales son llenadas 3, el operador tiene que retirar las botellas que no se llenaron y volver a colocarlas al principio,

al momento que el operador realiza esta acción con alguna frecuencia mueve las otras que si están llenas y se cae el contenido, debiendo parar todo para limpiar y continuar con el proceso.

- Para especificar la altura de las botellas se lo hace de formar manual, para lo cual los operadores tienen que hacer pruebas ya que si lo hacen mal romperán las botellas.
- Para observar si existe todavía líquido en la tolva, se necesita de un operador que este constantemente revisando si existe medicamento en la tolva.
- Existe una acumulación de botellas al final de la línea de producción, por lo tanto se tiene que parar la producción, para despachar las botellas que se están acumulando.

Hay mucho tiempo perdido durante el ensamble y calibración de la máquina, y también la necesidad de 4 operarios debido a la complejidad del proceso.

Para el control de calidad hay médicos dentro de la planta que ingresan durante el proceso y tienen que detener la línea de producción para verificar el nivel de líquido en cada una de las botellas.

La máquina que llena y tapa los medicamentos líquidos tiene tecnología antigua, en la cual para el control se usa un PLC que en la actualidad es difícil de conseguir y aún más repararlo, de igual forma los elementos que conforman el sistema.

Con la integración de tecnología actual se pretende dar los siguientes beneficios:

- Reducción de los tiempos muertos.
- Mejorar los tiempos de producción y aumentar la productividad.
- Reducir los costos de mantenimiento.
- Utilizar menos operarios durante el proceso, para poder ubicarlos en el área de empaque.

- Proporcionar un mejor monitoreo y supervisión del proceso a los médicos que se encuentren a cargo.
- Evitar los accidentes y paros, debido a la manipulación de las botellas por parte del operario durante el proceso.
- Proporcionar alarmas que alerten al operador, de cualquier falla existente en la línea de producción.

1.3 Alcance del proyecto

El presente proyecto se enfoca en el diseño y simulación de la modernización de la máquina encargada del proceso de llenado y tapado de medicamentos líquidos; lo primero que se realizará es considerar la tecnología más robusta, flexible, modular y escalable que mejor se adapte al sistema de automatización.

El proyecto en su fase 1 consta, de dos etapas las cuales son:

1.3.1 Diseño del sistema de control para el llenado y tapado de medicamentos líquidos.

No se realizará cambios a la parte mecánica o estructura de la máquina, ya que esta todavía se encuentra en buenas condiciones, el proyecto se va a enfocar en la modernización de la parte eléctrica y electrónica.

Se efectuará el diseño y la mejora del tablero eléctrico de la máquina, en donde se actualizarán los elementos que forman parte del mismo, entre estos están, la tarjeta utilizada para el control, los contactores, canaletas, switch, pulsadores, indicadores luminosos, relés, bornes, breakers, variador de frecuencia y la selección de los conductores adecuados para la etapa de control y potencia.

Es necesario controlar, supervisar y monitorear el proceso de llenado y tapado de la planta, para lo cual se implementará nuevos dispositivos de instrumentación que permitan optimizar y mejorar la producción. Se usará sensores como:

- Sensor de nivel tipo flotador: se utilizará dos sensores los cuales serán colocados uno en la parte superior del tanque y otro en la parte inferior, con el fin de poder controlar si la tolva está a punto de vaciarse, se escoge este tipo de sensor, ya que es muy utilizado en la industria farmacéutica.
- Sensores magnéticos: se utilizará este tipo de sensor con el fin de saber la posición de los 2 cilindros, que van a controlar el ingreso de las botellas vacías y la salida de las mismas pero con contenido.
- Sensores fotoeléctricos: este sensor se colocará para verificar si el nivel del líquido dentro de las botellas es el adecuado y de esta forma alertar al operador de que la botella no tiene el contenido adecuado en la botella.
- Sensores capacitivos: se utilizará estos sensores para llevar el conteo de botellas producidas, es decir llenadas y tapadas, y también para detectar la presencia de botellas en la parte de tapado.

Se utilizarán electroválvulas, con el fin de automatizar el proceso de llenado ya que de esta manera se realizaría la programación adecuada en el PLC y la regulación de líquido no se la efectuaría de forma manual.

Se utilizarán 2 cilindros y dos electroválvulas proporcionales, para poder regular de forma automática la posición del sistema mecánico, encargado de llenar las diferentes presentaciones de jarabes, 60 ml, 120 ml y 240 ml.

Para cumplir con lo anteriormente mencionado, se realizará el dimensionamiento de todos los elementos que se requieran para la automatización del sistema. Se llevará a cabo el diseño de los planos eléctricos donde se especificará detalladamente la conexión eléctrica de todos los elementos que conforman el sistema. Se realizarán los diagramas de control (se especifican las conexiones que entran y salen del controlador) y diagramas de fuerza (conexiones de elementos como motores, relés térmicos, etc).

Se desarrollará el diagrama P&ID que representa al proceso y la instrumentación, el cual es muy importante ya que ayuda al entendimiento del proceso, y proporciona la información necesaria en caso de implementación por parte del laboratorio farmacéutico.

Se realizará el programa del PLC, el cual será el encargado de controlar el proceso de llenado y tapado, y un sistema HMI SCADA donde se podrá controlar, monitorear y supervisar el funcionamiento del proceso, en esta etapa se va a enviar la información del proceso a una PC del área de control de calidad, donde se podrá observar la información más importante del proceso en programas de oficina como EXCEL; para dicha aplicación se va a utilizar un OPC server, con el fin de que si se llegara a cambiar algún recurso de software o hardware dentro del sistema, siempre exista una comunicación y transmisión de datos adecuada, a pesar de que no sean compatibles entre hardware o software, haciendo de esta forma al sistema flexible.

El diseño del HMI se lo realizará bajo la norma ISA 101, con el fin de crear un diseño estándar para una interfaz sencilla y eficaz, y siguiendo una jerarquía en la elaboración de las ventanas, como se muestra en la figura 1, para que sea fácil de usar y entender por parte del operador y el médico a cargo del proceso.

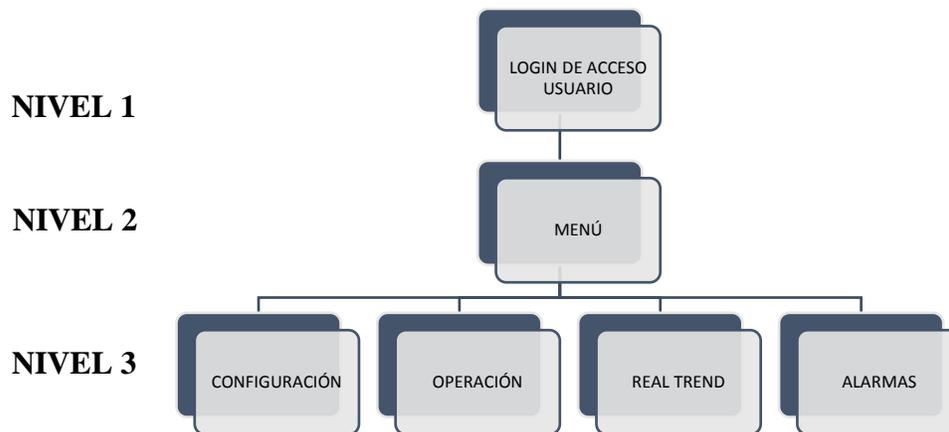


Figura 1. Jerarquía ventanas HMI

Se diseñará la topología de red, donde se podrá observar cómo se van a conectar todos los dispositivos, que estarán involucrados en la automatización. Se utilizarán dos PC's, en donde una se usa para recibir datos del proceso y la otra PC es para el HMI, un PLC el cual será el encargado del control y un switch para poder estar en red con todos los dispositivos.

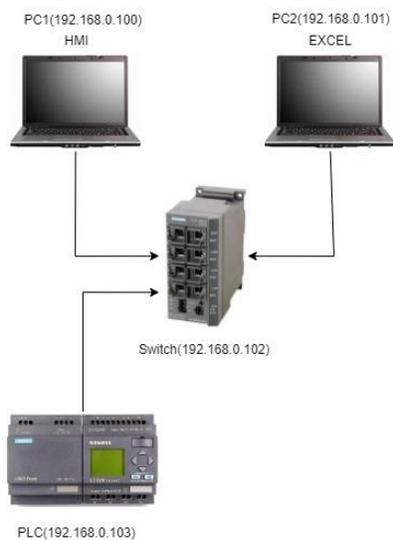


Figura 2. Topología de red

1.3.2 Simulación del sistema automatizado

En esta etapa se va a llevar a cabo la verificación del funcionamiento del programa desarrollado para el control del proceso, mediante las herramientas anteriormente mencionadas, y a su vez se podrá observar los parámetros del proceso en Excel y en la interfaz humano máquina.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar y simular la reoptimización del proceso de llenado y tapado para el área de medicamentos líquidos del laboratorio farmacéutico LAMOSAN.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Mejorar el diseño del tablero eléctrico de la máquina en el área de medicamentos líquidos, mediante la modernización de todos los componentes eléctricos y electrónicos.
- Especificar la instrumentación y tecnología para el diseño eléctrico del proceso, mediante el dimensionamiento de los elementos del sistema.
- Determinar la programación adecuada para el control del proceso de llenado y tapado de medicamentos líquidos.
- Especificar el diseño HMI que permita el control, supervisión y monitoreo del proceso, bajo criterios de diseño en base a la norma ISA 101.
- Evaluar el funcionamiento del sistema automatizado por medio de la simulación del proceso.

1.5 Descripción del proyecto

El proyecto tiene como propósito general la modernización del proceso de llenado y tapado para el área de medicamentos líquidos del laboratorio farmacéutico LAMOSAN.

La fase 1 del proyecto, incluye el diseño y la simulación del proceso automatizado.

En el área de medicamentos líquidos utilizan una máquina que fue adquirida hace mucho tiempo, por lo cual posee tecnología antigua y funciona de una manera no tan óptima como debería, estos problemas provocan muchos tiempos muertos durante el proceso, por lo cual representa una pérdida de dinero para el laboratorio farmacéutico.

El proceso se describe mediante estas principales etapas:

- **Abastecimiento de medicamento al tanque de tipo pulmón:** En esta etapa los operadores llenan el tanque de forma manual, abriendo una válvula que permite el paso de líquido, proveniente de un tanque secundario.
- **Calibración altura de botellas:** Se regula la torre que posee las boquillas encargadas de llenar las botellas.
- **Calibración de la cantidad de líquido:** Para controlar la cantidad de líquido con el que se va a llenar las botellas se lo hace de manera manual moviendo el perno de calibración.
- **Recepción de botellas:** Las botellas son colocadas en la mesa de acumulación giratoria pulmón de manera manual por parte de los operadores.
- **Transporte:** Una cinta transportadora es la que traslada las botellas, desde la mesa de acumulación hasta la etapa de llenado y posteriormente al tapado.

- Llenado: Los émbolos son abastecidos de líquido, por medio de unas mangueras que están unidas a una flauta distribuidora del tanque, después son accionadas las válvulas overflow que permiten el llenado de las botellas.
- Tapado: Las botellas pasan por una máquina dispensadora de tapas, posterior a la colocación de la tapa, pasan por un taladro, cuya función es cerrar correctamente las botellas.
- Paletizado: Al final de la línea de producción, los operadores proceden a retirar las botellas de la banda transportadora y colocarles en palets, para que posteriormente sean llevadas al área de empaque.

Lo que se pretende es realizar un diseño con tecnología actual más robusta, flexible, modular y escalable que mejor se adapte al sistema de automatización, realizando una mejora en cuanto al funcionamiento, supervisión, monitoreo y control del proceso.

Con la creación de una Interfaz Humano máquina, el uso de un controlador lógico programable, de un OPC server y de la aplicación de Microsoft EXCEL, se va a tener una adquisición de datos del proceso, que son muy importantes para el control de calidad del producto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Automatización en la industria farmacéutica

Muchos de los avances tecnológicos que se han producido durante estos últimos años, permiten realizar una mejora en el rendimiento de los procesos productivos farmacéuticos. Las industrias buscan la optimización de procesos, cumplir con normativas y realizar mejoras en la cadena de suministro, estos factores impulsan a la inversión en tecnologías de automatización en toda la industria farmacéutica (Automation in Pharmaceutical Manufacturing, s. f.).

La automatización conlleva el uso de computadoras y de diferentes tecnologías para controlar un proceso, utilizando sus parámetros y variables de manera correcta, provocando una optimización en la producción. Es necesario aplicar estas tecnologías con la finalidad de aumentar el rendimiento y la eficiencia, y lo principal en la industria reducir costos. Se ejecuta una automatización en el sistema de control de supervisión con el objetivo de proporcionar mejores rendimientos, las operaciones de planta sean más estables y controladas (Process Optimization and Automation in Pharmaceutical Manufacturing, 2016).

Con la automatización se pueden identificar cuellos de botella y eventos críticos, que pueden ser solucionados de manera rápida y eficiente, debido a la integración de tecnología, logrando flexibilidad en el proceso y reducción de riesgos.

La importancia de la optimización y automatización de los procesos de la industria farmacéutica, implica en la alta demanda que existe de medicamentos en la actualidad, por lo tanto la producción

debe ser mayor, otro punto importante es la seguridad, ya que si los productos farmacéuticos no son elaborados bajo los estándares requeridos amenazan potencialmente la vida de los consumidores.

La industria farmacéutica está altamente regulada debido a la importancia que se otorga a la seguridad de la salud pública. Esta es la razón por la que la regulación y el cumplimiento es una consideración importante para la automatización porque garantiza el cumplimiento de las consideraciones y directrices de seguridad.

Por lo tanto la automatización ofrece un mejor control de los procesos. Proporciona a la empresa la ventaja de poder monitorear sus procesos desde ubicaciones remotas. Se pueden crear informes automáticamente, ingresar datos importantes y compartir información en tiempo real. Finalmente, proporcionando un producto de alta calidad, ya que en la industria es altamente crítico que la calidad de los productos nunca se vea comprometida.

2.1.1 Máquina de llenado y tapado de medicamentos líquidos

Las máquinas de envasado son instrumentos importantes para la producción masiva de medicamentos, son muy esenciales para que cualquier empresa cumpla con los requisitos locales e internacionales de las producciones farmacéuticas. Las máquinas de llenado, etiquetado y tapado son las máquinas más utilizadas para la alta producción de medicamentos líquidos (Filling & Labelling Machine - Powder, Liquid, Bottle Filling Machine, Tube Filling Machine, 2016).

2.2 Automatización industrial

La automatización industrial se la define como el uso de sistemas de control, como computadoras o robots, y tecnologías de información para controlar y manejar diferentes procesos

y maquinarias en donde la participación humana sea muy poco significativa, logrando un rendimiento mayor a la del control manual (Types of Industrial Automation, 2015).

Los componentes principales que componen a la automatización son: sistemas encargados del tratamiento de información (ordenadores, touch panel y PLC's), actuadores y preaccionadores (motores, relés, contactores,etc.) y transductores (captadores de información).

2.2.1 Sistemas automatizados

Para poder comprender un sistema automatizado se lo separa en dos partes la del mando y la operativa.

Parte de mando

Un controlador es el que forma parte del mando, se realiza el tratamiento de la información, variables del proceso (magnitudes físicas a controlar y cambios de estado) y se envían pequeñas señales eléctricas a los preaccionadores como respuesta a estas variables. Es el centro del sistema y debe ser capaz de comunicarse con todos los componentes que forman parte del proceso.

Parte operativa

Aquí ocurren las acciones que se ejercen directamente sobre la máquina. La conforman los elementos que permiten el movimiento y funcionamiento de la máquina encargada del proceso productivo como: motores eléctricos, cilindros neumáticos e hidráulicos, bombas, etc(Piedrafita, 2013).

A continuación en la figura 3 se va a poder observar la estructura en general de un sistema automatizado.

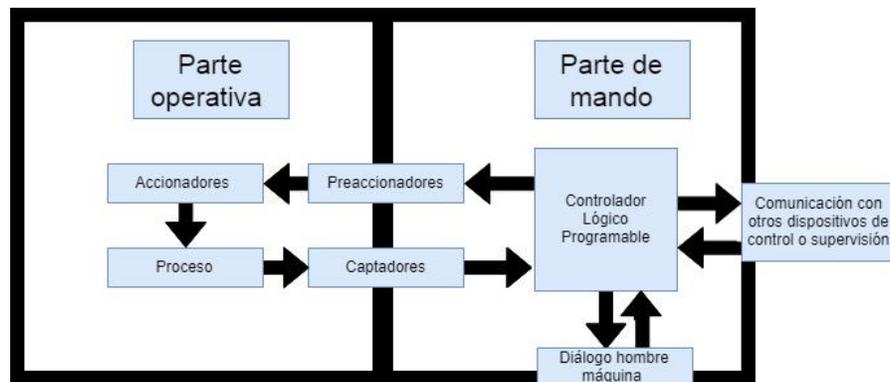


Figura 3. Estructura sistema automatizado

Fuente: (Piedrafita, 2013)

2.2.2 Sistemas de control

Un sistema de control es una combinación elementos que actúan conjuntamente para cumplir un objetivo específico. Dependiendo como se emplee el sistema de control existen dos tipos, de lazo abierto y de lazo cerrado(Ogata, 1998).

Para poder comprender bien lo que es un sistema de control es necesario entender dos conceptos.

- Variable controlada: es el parámetro más importante, no puede cambiar durante el proceso, debido a que su variación provocaría un mal funcionamiento del sistema, tiene que ser monitoreada por medio de un sensor(Ogata, 1998).
- Variable manipulada: es el parámetro que modifica el controlador del sistema, para mantener la variable controlada dentro de las especificaciones del sistema(Ogata, 1998).

2.2.2.1 Sistema de control de lazo abierto

Es un sistema de control que carece de elementos de medición. Por lo tanto, la salida no se mide y no va hacer realimentada para poder compararla con la entrada. A continuación se podrá observar

en la figura 4 mediante bloques como es el comportamiento de un sistema de control de lazo abierto.

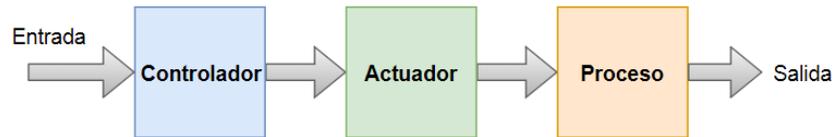


Figura 4. Sistema de control de lazo abierto

2.2.2.2 Sistema de control de lazo cerrado

Es un sistema de control cuya característica principal es la de poseer elementos de medición, para tener monitoreada la salida del sistema y poder compararla con el valor deseado, posteriormente se va a obtener una señal de error la cual ingresa al controlador y se lleva el control deseado del sistema. A continuación se muestra en la figura 5 mediante bloques el comportamiento de un sistema de control de lazo cerrado.

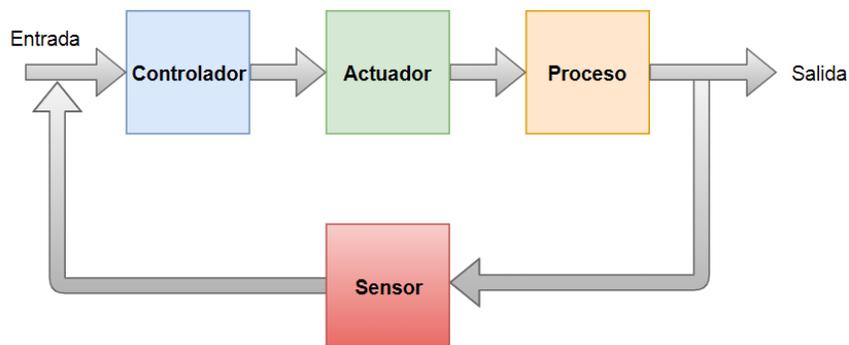


Figura 5. Sistema de control de lazo cerrado

2.2.3 Controlador lógico programable

El controlador lógico programable o también conocido como PLC, es uno de los controladores más idóneos para el uso a nivel de procesos industriales. Fue construido principalmente para reemplazar los sistemas de relé electromecánicos que implicaban un gran cableado de banco de relés. En cambio con un PLC solo se necesita de una PC para descargar el programa y poner en funcionamiento el control del proceso. Es la primera opción para llevar a cabo un sistema de control ya que ofrece una solución más simple.

Por lo tanto un PLC es considerado una computadora digital encargado de ejecutar funciones de control, por lo general son aplicaciones de carácter industrial.

En el mercado la mayoría de PLC son modulares, lo que es de gran ayuda para los usuarios ya que se puede realizar un gran variedad de funciones de control como PID, discreto, analógico, control de posición, control de motor; además es posible tener redes de alta velocidad mediante comunicaciones en serie. Las ventajas que posee un PLC comparado con tecnologías antiguas son, es más fácil de solucionar, más confiable, más rentable y mucho más versátil.

Para el uso de un PLC hay que tener en cuenta ciertos parámetros, a que sean escogidos de manera correcta de acuerdo a la aplicación que se la desea dar. Estos criterios son los siguientes:

- Se debe especificar el tipo de entradas y salidas que se van a manejar ya sean discretas o analógicas y el número de entradas y salidas que se van a manejar.
- El costo del equipo de acuerdo a la aplicación, para especificar el software y accesorios necesarios para la automatización del sistema.
- Los protocolos de comunicación que soporta el equipo.
- Soporte técnico disponible en el país que se va a realizar el uso del PLC.

- Los recursos necesarios que debe tener el PLC como, tipo de operaciones que realiza, capacidad de memoria, funciones de control, velocidad de procesamiento y velocidad de comunicación.

2.2.4 Niveles de automatización

La automatización de los procesos de producción ha evolucionado constantemente y este gran avance es posible gracias a la combinación de ingenierías como la mecánica, electricidad, electrónica, la informática, etc.

La representación de la integración de estas tecnologías es mediante el uso de la Pirámide de automatización como se observa en la figura 6, la cual indica los cinco niveles tecnológicos que se deben considerar en un entorno industrial. Para la interrelación de las tecnologías dentro de cada nivel como entre los diferentes niveles, se lo realiza mediante el uso de comunicaciones industriales.

Los cinco niveles son:

Nivel de campo: Está conformado por todos los dispositivos físicos que se encuentren en el proceso, como sensores y actuadores.

Nivel de control: Está conformado por los dispositivos lógicos encargados de manejar la instrumentación del nivel de campo, como PLC, PC, PID, etc.

Nivel de supervisión (SCADA): Está conformado por los sistemas de adquisición de datos y de control.

MES: Está conformado por los sistemas de ejecución de manufactura.

ERP: Se lo conoce como planificación de recursos empresariales, cuenta con los sistemas informáticos de la parte gerencial, encargados de manejar e integrar operaciones de producción y distribución de la empresa.

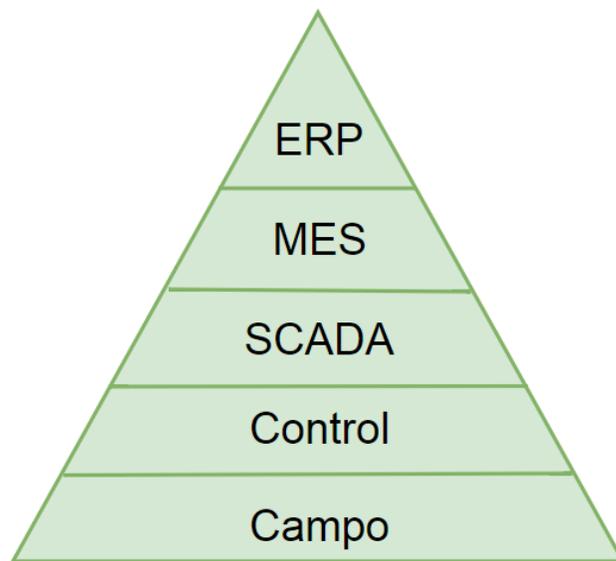


Figura 6. Pirámide de Automatización

2.3 Definición de equipos e instrumentación industrial

Un sistema automatizado está conformado por un conjunto de instrumentos que permiten informar el estado de cada dispositivo que se encuentran en campo, para que el controlador ejecute acciones que lleven al correcto funcionamiento del sistema.

Por lo tanto para automatizar un proceso es necesario que el sistema disponga de sensores y accionadores y pre-accionadores.

2.3.1 Sensores

Los sensores son los dispositivos principales que deben estar presentes dentro de un sistema automatizado, debido a que el controlador debe estar informado del estado y posición de ciertas partes móviles del proceso, los productos fabricados y de las variable a controlar como temperatura, nivel, caudal, presión, etc(Piedrafita, 2013).

En el mercado existe una amplia gama de sensores, debido a que existen diferentes aplicaciones dentro de la industria, entre los cuales son finales de carrera, inductivos, capacitivos, ópticos y ultrasónicos.

2.3.1.1 Finales de carrera

Este tipo de sensor como se observa en la figura 7 se basa en la conmutación electromecánica, se lo utiliza para la detección de objetos por medio del contacto con un cabezal que posteriormente provoca el cierre de los contactos eléctricos del fin de carrera(Piedrafita, 2013).

La ventaja principal de los finales de carrera es su bajo costo. Por otro lado, la desventaja es que no se puede medir la distancia de detección, ya que se basa en el contacto físico para su accionamiento.



Figura 7. Finales de carrera
Fuente(Multicontrol, 2018)

2.3.1.2 Sensores inductivos

Los sensores inductivos como se observa en la figura 8 se los utilizan para detectar objetos metálicos sin necesidad de contacto con el mismo, el elemento se encuentra a poca distancia del sensor en un rango de 0 a 30 milímetros(Piedrafita, 2013).

Su funcionamiento de basa en un oscilador de alta frecuencia que provoca un campo en la parte que se encuentra ubicada una ferrita magnética abierta. Cuando se presenta una pieza metálica en la parte de detección, se produce una disminución en la amplitud de oscilación, lo que se interpreta como el cambio de estado de la salida del sensor (Moreno, 2001).



Figura 8. Sensor Inductivo

Fuente(Los sensores inductivos
con todo el sentido, 2015)

2.3.1.3 Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos como se observa en la figura 9 también permiten la detección de un objeto sin la necesidad de contacto físico, a diferencia de los inductivos estos pueden detectar elementos no conductores, como vidrio, cartón, madera, fluidos, cerámica, etc(Piedrafita, 2013).

Este captador posee unos electrodos que actúan conjuntamente con un oscilador, cuando un objeto se acerca a la cara activa del sensor, este ingresa el campo eléctrico de los electrodos y se

produce un cambio en el acoplamiento capacitivo de los electrodos, provocando la conmutación del sensor(Moreno, 2001).



Figura 9.Sensor capacitivo
Fuente(Sensores Capacitivos, 2018)

2.3.1.4 Sensores Ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos como el de la figura 10 basan su funcionamiento en emitir y recibir señales de sonido a alta frecuencia, cuando un objeto interrumpe este haz, se transmite un eco hacia el sensor produciendo la conmutación.



Figura 10. Sensor
Ultrasónico
Fuente(Different Types
of Level
Sensors and its Applications, 2018)

2.3.1.5 Sensores magnéticos

A estos sensores como el de la figura 11 también se los conoce como relés tipo reed, se los utiliza principalmente para la detección de posición de un cilindro neumático, su funcionamiento se basa en la que un imán que se encuentra fijado en el pistón del cilindro satura el núcleo de la bobina del sensor con un campo magnético que genera, este fenómeno produce un cambio en la corriente que circula por el detector produciendo la conmutación del mismo(Moreno, 2001).



Figura 11. Sensor magnético
Fuente(vCard, 2018)

2.3.1.6 Sensor Fotoeléctrico

Los sensores fotoeléctricos como los de la figura 12 se los utiliza principalmente para detectar la posición de algún objeto, poseen un emisor y receptor. El emisor produce variaciones de luz que hacen reaccionar al receptor. En el momento que objeto interrumpe las variaciones de luz ahí se produce la conmutación del captador.



Figura 12. Sensor fotoeléctrico
Fuente(OMRON Global, 2019)

2.3.2 Accionadores y actuadores

Los accionadores o actuadores son elementos importantes en un sistema de automatización, ya que permiten controlar, posicionar o mover un sistema o equipo, pueden ser de tipo eléctrico, neumático e hidráulico. Los actuadores permiten que los equipos automatizados ejecuten su trabajo de una forma fácil y sin problemas(Hollis, 2018).

2.3.2.1 Accionadores neumáticos

Los actuadores neumáticos son los que utilizan como fuente de energía el aire comprimido, para posteriormente transformarla en energía mecánica y ejecutar una acción. Por lo tanto, los actuadores son utilizados para realizar una tarea en la que se requiera utilizar la fuerza que ejerce el final de carrera o para crear un desplazamiento por el movimiento del pistón. Los accionadores neumáticos por lo general son cilindros y existen algunos tipos como los de la figura 13 dependiendo la aplicación y pueden ser:

- Actuador lineal o cilindros neumáticos.
- Actuador rotativo o motores neumáticos
- Actuador de ángulo limitado

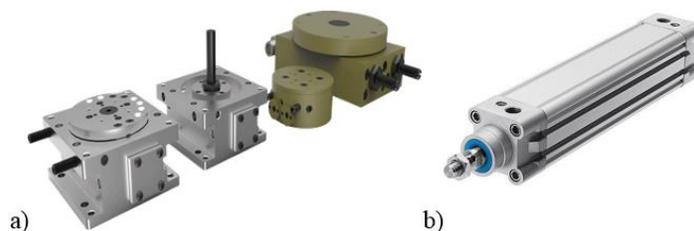


Figura 13. Actuadores neumáticos: a) rotativo y b) lineal
Fuente (Pneumatic Actuator, 2018)

2.3.2.2 Accionadores eléctricos

Los actuadores eléctricos son los que utilizan como fuente de energía la electricidad, para posteriormente transformarla en energía mecánica y ejecutar una acción. Los diferentes tipos de actuadores eléctricos tienen versiones para varias configuraciones de potencia y vienen en muchos estilos y tamaños dependiendo de la aplicación.

Los diversos actuadores pueden ser: válvulas eléctricas, motores AC y DC, resistencias de calentamiento, actuador eléctrico de corte rotativo, actuador eléctrico lineal inteligente, actuador Lineal Eléctrico de Corte, accionador eléctrico tipo rotativo de regulación como se puede ver en la figura 14.

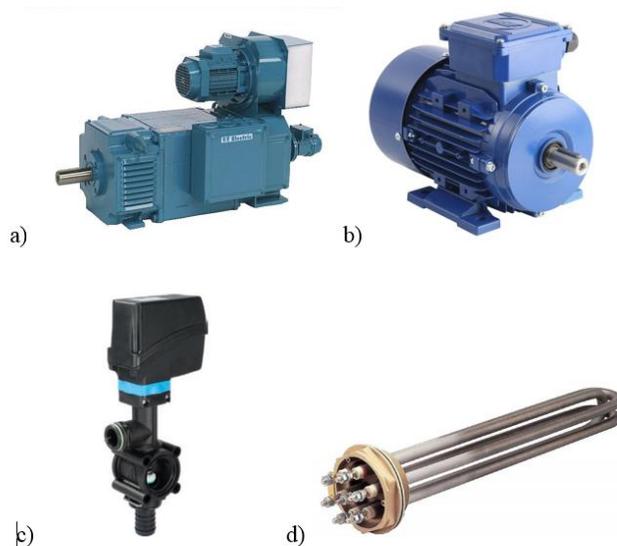


Figura 14. Actuadores eléctricos: a) Motor AC, b) Motor DC, c) Electroválvula, d) Resistencia eléctrica
Fuente (Autoría propia, 2019)

2.3.3 Pre-accionadores

Son elementos que se utilizan dentro de un sistema de automatización, para controlar y activar los accionadores, se los puede considerar como una interfaz entre el proceso industrial y las señales de control que manda un autómatas programable. Además son capaces de proveer la potencia necesaria para el funcionamiento de motores trifásicos, máquinas, etc.

2.3.3.1 Pre-accionadores eléctricos

- Variador de frecuencia: Se encarga de controlar la frecuencia de alimentación suministrada a un motor de corriente alterna para controlar la velocidad de rotación del motor.
- Relé: Es un dispositivo eléctrico de conmutación conformado por una bobina y contactos, cuyo funcionamiento se basa en aplicar una pequeña corriente eléctrica a la bobina, provocando el cierre o apertura de sus contactos y posteriormente la alimentar el dispositivo con la energía requerida.
- Contactor: Es un dispositivo que funciona como interruptor y es controlado a distancia. El uso industrial más común para los contactores es el control de motores eléctricos, ya que pueden controlar corrientes elevadas con la ayuda de una corriente pequeña.

2.3.3.2 Pre-accionadores neumáticos

Son dispositivos eléctricos que reciben una señal eléctrica o neumática para el mando de cilindros.

2.4 Protocolos de comunicaciones industriales

Un protocolo de comunicación industrial está conformado por un grupo de reglas, con las cuales se puede realizar el intercambio y transferencia de datos entre los diferentes dispositivos que forman parte de una red (Salazar, 2011).

En la actualidad muchas empresas tienen un gran nivel de automatización, por este motivo, llegan a dividir por etapas sus procesos, por lo tanto es necesario el uso de redes y protocolos de comunicación industrial para poder tener una conexión entre las distintas etapas que conforman los procesos.

Las ventajas principales de usar redes y protocolos de comunicación dentro de los procesos industriales son:

- La precisión es alta debido a la unión de tecnología digital para realizar mediciones.
- La disponibilidad de la información proveniente de los dispositivos de campo es mayor y mejor.
- Se puede diagnosticar y analizar de manera remota los componentes que conforman el proceso industrial.
- Existen dos modelos muy utilizados al momento de tratarse de protocolos de comunicación industriales estos son:
 - Modelo OSI (Interconexión de sistemas abiertos)
 - TCP/IP (Protocolo de control de transmisión /Protocolo de internet)

2.4.1 Modelo OSI

El modelo OSI tiene como ventaja principal dividir el problema general de comunicación en pequeños problemas específicos, y se basa en una estructura conformada por varias capas o niveles en donde se puede representar desde el más pequeño elemento de comunicación hasta una completa aplicación(Salazar, 2011).

Las capas o niveles del modelo OSI son los siguientes:

1. Capa física: Se encarga de realizar el envío de bits de extremo a extremo, y normaliza los aspectos funcionales, mecánicos y eléctricos.
2. Capa de enlace: Se realiza la transferencia de los datos de manera segura por el medio físico, utilizando envío de paquetes.
3. Capa de red: Se crean conexiones para mantener conectados los sistemas del usuario, proporcionando los medios necesarios.
4. Capa de transporte: Se realiza el intercambio de información con el nivel solicitado y se hace un control de extremo a extremo.
5. Capa de sesión: En esta capa se realiza un manejo de la conexión, se controla el sincronismo y se ejecuta el intercambio de información.
6. Capa de presentación: Se convierte la información transmitida en un lenguaje adecuado para que la comunicación entre los dispositivos sea correcta.
7. Capa de aplicación: Se proporciona servicios para el usuario como por ejemplo: http, correos electrónicos, compartición de ficheros, etc.

Los niveles del 1 al 4 proporcionan servicio de transporte, por lo que los niveles del 5 al 7 proveen de servicios de soporte al usuario.

2.4.2 TCP/IP (Protocolo de control de transmisión /Protocolo de internet)

El modelo TCP/IP es un conjunto de protocolos de comunicación utilizados para interconectar dispositivos de red en internet. Especifica cómo se van a intercambiar los datos a través de Internet proporcionando comunicaciones de extremo a extremo identificando si tienen que dividirse en paquetes, direccionarse, transmitirse, enrutarse y recibirse en el destino. TCP / IP requiere poca administración central, y está diseñado para que las redes sean confiables, con la capacidad de recuperarse automáticamente de la falla de cualquier dispositivo en la red(Salazar, 2011).

TCP / IP se divide en cuatro capas:

Capa física: Se conforma de protocolos para determinar el enrutamiento de los datos, sin importar la red. Tiene un componente de red que ayuda a interconectar nodos o hosts en la red. Los protocolos en esta capa incluyen Ethernet para redes de área local y el Protocolo de resolución de direcciones.

Capa de red: Se la conoce también como capa de Internet, encargada de conectar las redes independientes y manipular los paquetes para transportar los paquetes a través de los límites de la red. Los protocolos de capa de red son la IP y el Protocolo de mensajes de control de Internet, que se utiliza para la notificación de errores.

Capa de transporte: Es el responsable de que la comunicación de extremo a extremo a través de la red sea exitosa. Proporciona control de flujo, multiplexación y confiabilidad. Los protocolos de transporte incluyen TCP y User Datagram Protocol, que a veces se utiliza en lugar de TCP para fines especiales.

Capa de aplicación: La capa de aplicación proporciona aplicaciones con intercambio de datos estandarizado. Sus protocolos incluyen el Protocolo de transferencia de hipertexto, el Protocolo de transferencia de archivos, el Protocolo de oficina de correos 3, el Protocolo simple de transferencia de correo y el Protocolo simple de administración de redes.

En la figura 15 se puede observar una comparación entre el modelo OSI y el modelo TCP/IP, en donde se puede observar como el modelo OSI tiene más niveles a diferencia del TCP/IP.

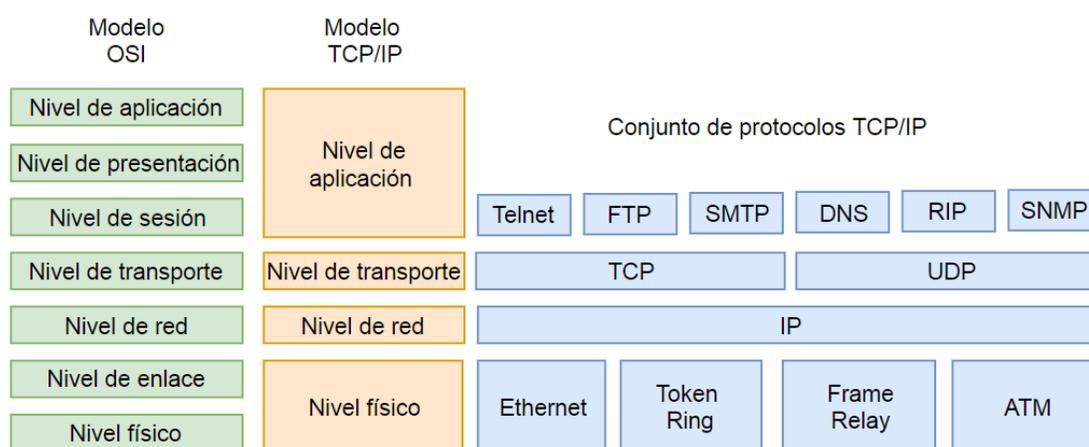


Figura 15. Comparación modelo OSI vs modelo TCP/IP

2.4.3 Características de los protocolos más usados en el entorno industrial

Para usar un protocolo de comunicación dentro de un entorno industrial, hay que tomar en cuenta las especificaciones de la tabla 1, por que dependiendo de cuantos dispositivos se vayan a conectar o la velocidad de transmisión que se requiera, se va a escoger un protocolo de comunicación que se adapte a la aplicación que se va a implementar.

Tabla 1*Características de protocolos de comunicación*

Nombre	Topología	Soporte	Máximo dispositivos	Velocidad de transmisión bps	Distancia máxima km	Comunicación
Profibus	línea,	Par				
DP	estrella, anillo	trenzado, Fibra óptica	127	1.5M y 12 M	24	Maestro/esclavo Punto a punto
Profibus	línea,	Par				
PA	estrella, anillo	trenzado, Fibra óptica	14400	31.5 K	24	Maestro/esclavo Punto a punto
Profibus-		Par				
FMS		trenzado, Fibra óptica	127	500 K		Maestro/esclavo Punto a punto
Foundation		Par				
Fieldbus	estrella	trenzado, Fibra óptica	240	100M	2	Simple/ Multi- Maestro
LonWorks	Bus, anillo, estrella, lazo	Par trenzado, Fibra óptica, coaxial radio	32768	500 K	2	Maestro/esclavo Punto a punto
Interbus	Segmentado	Par trenzado, Fibra óptica	256	500 K	400/ segm 12.8 total	Maestro/esclavo
DeviceNet	Troncal, puntual, bifurcación	Par trenzado, Fibra óptica	2018	500 K	0.56 c/repetid	Maestro/esclavo Multi-Maestro Punto a punto
ASI	bus, estrella,	Par				CONTINÚA

	anillo	trenzado, Fibra óptica	31	167K	0.1, 0.3 c/rep 24 fibra	Maestro/esclavo
Modbus	línea, estrella, árbol, red con segmentos	Par trenzado, coaxial,radio	1250	1.2 a 115.2 K	0.35	Maestro/esclavo
Ethernet	bus, estrella,	Coaxial, Par				
industrial	malla, cadena	trenzado, Fibra óptica	400	10 a 100 M	0.1 100 mono c/switch	Maestro/esclavo Punto a punto
Hart		Par trenzado	15	1.2K	0.1 segm 24 fibra	Maestro/esclavo

2.5 Interfaz Humano Máquina

Una interfaz humano máquina es una aplicación de software que presenta información a un operador o usuario sobre el estado del proceso productivo, para que de esta forma se pueda implementar instrucciones de control. También se lo puede considerar como un panel de control que conecta al operador con las máquinas o sistemas involucrados dentro del proceso. En el ámbito industrial se lo puede abreviar como HMI(Inductive Automation, 2018).

Un HMI por lo general puede ser una pantalla táctil o un ordenador, ubicados en una zona muy accesible para el operador o el jefe de producción. A menudo forma parte de un sistema SCADA y la información se muestra en formato gráfico.

El HMI está compuesto por hardware y software que permiten que los comandos que ingrese el operador se traduzcan como señales para los actuadores que forman parte del proceso, y de esta

forma obtener el resultado requerido. Se utiliza HMI en diferentes industrias como electrónica, entretenimiento, militar, médica, etc. Ayudan de manera significativa a integrar a los seres humanos en sistemas tecnológicos complejos(Inductive Automation, 2018).

Las principales utilidades de un HMI dentro un proceso industrial son:

- Presentar los datos visualmente en tiempo real.
- Seguimiento del tiempo de producción, tendencias y etiquetas.
- Supervisar los KPIs del proceso.
- Observar el estado de las entradas y salidas del proceso.

Existen una gran variedad de HMIs, desde pantallas integradas en máquinas, monitores de computadora, tabletas, pero independientemente del tipo de tecnología que se decida usar, su propósito principal es proporcionar información sobre el desempeño y el progreso de las máquinas utilizadas dentro del proceso productivo(Filali, S., 2014).

La gran mayoría de organizaciones industriales utilizan HMI, con la finalidad de poder interactuar con sus máquinas y optimizar sus procesos industriales. Entre las industrias que utilizan HMI son:

- Energía.
- Alimentos.
- Petróleo y gas.
- Salud.
- Reciclaje.
- Transporte.
- Agua y aguas residuales.

Los HMI son recursos esenciales para ingenieros y operadores, debido a que permiten supervisar y monitorear procesos, además de, diagnosticar problemas y visualizar datos, algunos ejemplos se pueden observar en la figura 16.



Figura 16.HMI

Fuente (Human Machine Interface, 2019)

2.6 OPC

OPC es un método de conectividad de datos basado en estándares populares del mundo. Se utiliza para responder a uno de los mayores desafíos de la industria de la automatización, el cual es poder comunicarse entre dispositivos, controladores o aplicaciones sin quedar atrapado en los habituales problemas de conectividad.

OPC se puede representar como una capa abstracta que se encuentra entre el dispositivo que origina los datos y el receptor de datos, lo que les permite intercambiar datos sin necesidad de conocerse como se observa en la figura 17.

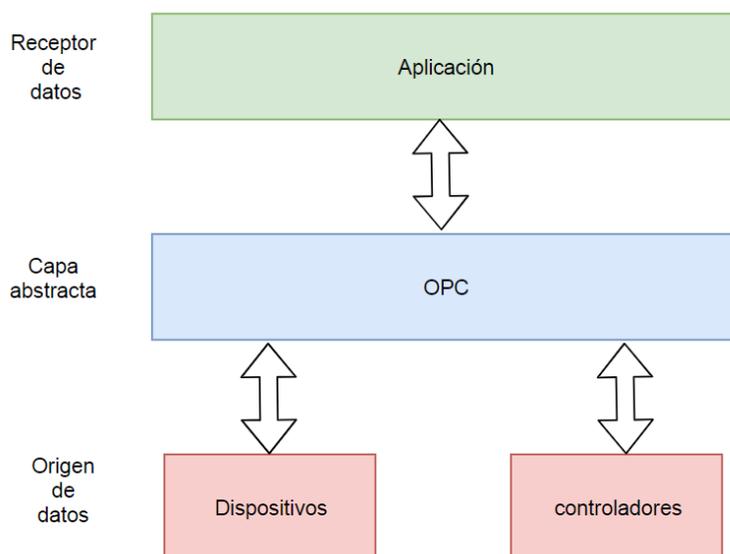


Figura 17. Comunicación entre fuentes y receptores de datos por medio del OPC.

Fuente (Kominek, 2009)

Todas las especificaciones de OPC se basan en el modelo cliente y servidor como se observa en la figura 18. La descripción de la relación cliente/servidor es la siguiente: el cliente OPC realiza una solicitud requiriendo un servicio desde una aplicación, el Servidor OPC cumple con la función de proporcionar el servicio. El modelo OPC cliente/servidor es utilizado en una red, para proporcionar una infraestructura versátil y modular que ofrece flexibilidad, interoperabilidad y escalabilidad. Es muy diferente comparado a otras arquitecturas comunes como maestro/esclavo o punto a punto (Kominek, 2009).

2.7 Norma ISA 101

Una HMI se considera efectiva cuando proporciona a los operadores la información necesaria para que puedan comprender lo que sucede en el proceso y de esta manera tomar las decisiones correctas que permitan el buen funcionamiento del proceso. Por lo tanto la norma ISA 101 permite que los usuarios comprendan el significado de los conceptos y de qué manera implementarlos en aplicaciones de manufactura.(Marketing, 2015)

El uso de la norma ISA 101 tiene los siguientes propósitos dentro de una automatización industrial:

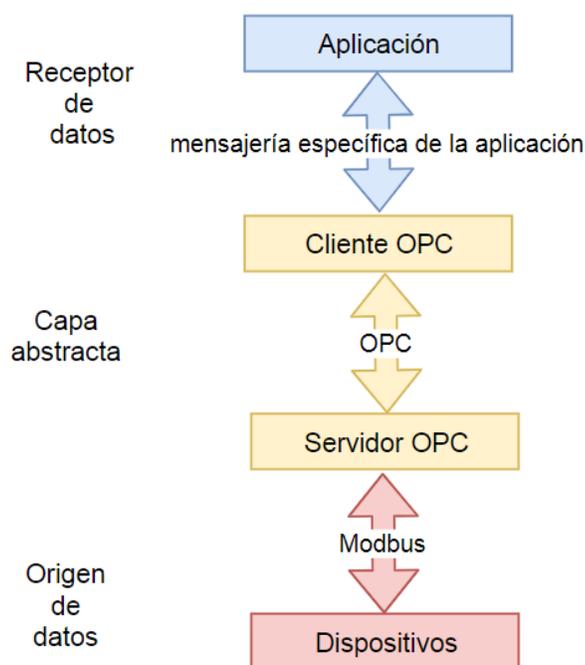


Figura 18. Modelo cliente/servidor de OPC.

Fuente (Kominek, 2009)

2.8 Norma ISA 101

Una HMI se considera efectiva cuando proporciona a los operadores la información necesaria para que puedan comprender lo que sucede en el proceso y de esta manera tomar las decisiones correctas que permitan el buen funcionamiento del proceso. Por lo tanto la norma ISA 101 permite que los usuarios comprendan el significado de los conceptos y de qué manera implementarlos en aplicaciones de manufactura(Marketing, 2015).

El uso de la norma ISA 101 tiene los siguientes propósitos dentro de una automatización industrial:

- Proporcionar la información necesaria para el diseño, la implementación, mantenimiento y operación de HMI's mucho más efectivas, para realizar un control más eficiente y seguro del procesos automatizado.
- Ayudar a que el operador mejore su capacidad para detectar, diagnosticar y responder de manera rápida ante situaciones anormales.

Esta norma se la puede usar en procesos discretos, discontinuos, continuos y cualquier proceso que realice una interacción entre el sistema automatizado y una HMI.

2.8.1 Ciclo de vida ISA 101 para HMI

La norma ISA 101 propone que una HMI debe ser elaborado y administrado basándose en un modelo de ciclo de vida. ISA 101 se enfoca en un ciclo de vida para que la gestión de HMI sea muy efectiva, para que de esta forma sea más fácil la identificación y definición de las diferentes necesidades que puedan ocurrir dentro de este lapso de tiempo. En la figura 19 se puede observar la organización de los pasos del ciclo de vida de la norma ISA 101(HMI Lifecycle, 2017).

Las actividades enumeradas en el ciclo de vida de ISA 101 generalmente son recomendaciones como las siguientes:

- El HMI debe ser consistente e intuitivo.
- La información mostrada debe ser relevante para el operador.
- El color no debe ser el único indicador de una condición importante.
- Los colores elegidos deben ser distinguibles por los operadores.
- Las advertencias auditivas deben ser claras y no ambiguas.

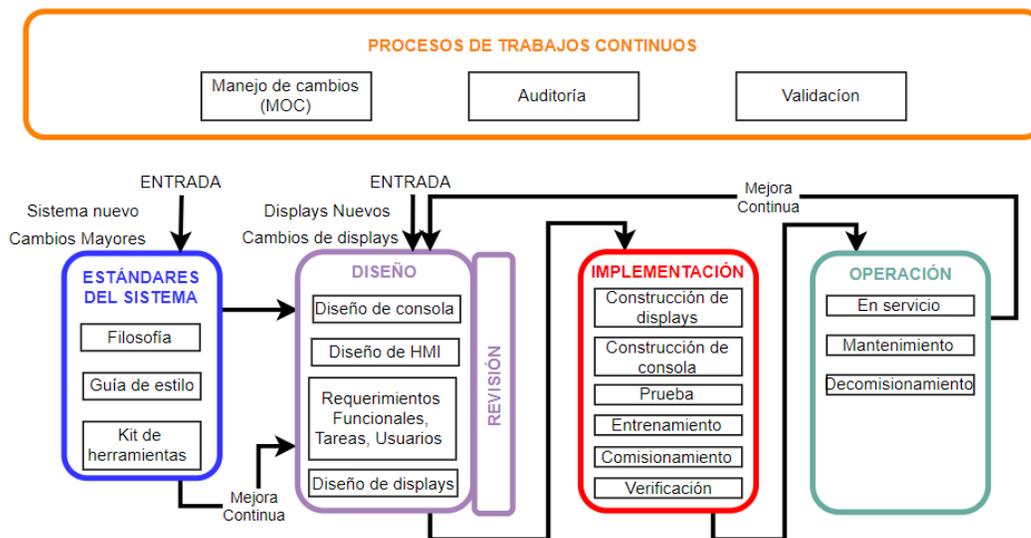


Figura 19. Ciclo de vida HMI

Fuente: (Marketing, 2015)

2.8.1.1 Estándares del Sistema

Los estándares del sistema están conformados por herramientas que proporcionan documentación muy importante y efectiva para ejecutar una correcta gestión de un interfaz humano máquina dentro del proceso automatizado, las cuales son:

- La Filosofía de la HMI: Es la base clave para que los operadores e ingenieros nuevos comprendan de una mejor manera los fundamentos y principios técnicos presentes en la HMI. Aportando guías, bases y conceptos en donde se explica las condiciones necesarias para elaborar el diseño de la HMI y cómo usarlo. Además se describe los estándares de diseño, factores humanos, los requisitos funcionales necesarios para dar soporte a una HMI(HMI Lifecycle, 2017).
- Guía de Estilo de la HMI: Se aplican todos los conceptos de la filosofía y proporciona una orientación sobre colores, indicaciones de alarma, estados de encendido / apagado, símbolos, navegación y formas de proporcionar contexto a los usuarios.
- Kit de Herramientas de la HMI: En esta parte se desarrolla una biblioteca en donde se integran todos los elementos que se van a usar en el diseño de una HMI como por ejemplo: requisitos sobre la interfaz de usuario, las alarmas, la presentación y factores como contraste, densidad, color, símbolos, tamaño, etc(HMI Lifecycle, 2017).

2.8.1.2 Diseño

En esta etapa se toman las siguientes consideraciones:

- Diseño de consola: Se realiza el diseño de la consola tomando en cuenta las necesidades del operador, en donde se considera muchos factores como: los equipos que se van a usar, el ambiente de trabajo y las comodidades para la visualización.
- Diseño de HMI: Se consideran todos los elementos que se utilizarán para el sistema los cuales son hardware y software. Posteriormente, se toma en cuenta el tipo de red, el nivel de seguridad y cuantos usuarios van a usar el HMI.

- **Requerimientos funcionales, usuarios y tareas:** Se realiza la documentación en donde se especifica todo lo que se requiere para la elaboración de la HMI, además se define los usuarios principales y secundarios; también se detalla todas las condiciones para un funcionamiento normal o falla, soporte técnico y quienes serán los usuarios que tengan acceso a todas las funciones del HMI.
- **Diseño de displays:** Se elabora un diseño previo a la implementación el cual contenga toda la información que se especificó en las etapas anteriores, para que pase por una primera revisión y de esta manera asegurarse que toda la información sea la correcta y la conexión con el sistema sea exitosa.

2.8.1.3 Implementación

Utiliza la documentación que se generó en las dos etapas anteriores, incorporando el hardware y software, y de esta manera elaborar la HMI bajo las siguientes consideraciones:

- **Construcción de consola y displays:** Dependiendo la aplicación se especifica si es necesario construir o solo adquirir una consola de una empresa, aquí también se realiza la adecuación necesaria de las consolas, lo que involucra la configuración e instalación de sistemas operativos y softwares para que el sistema automatizado funcione correctamente.
- **Prueba:** Se realizan pruebas de la HMI, se las puede hacer en línea, fuera de línea o probando con el sistema automatizado; la finalidad de las pruebas es comprobar la operabilidad, versatilidad y el rendimiento del sistema en conjunto. Es muy importante realizar las pruebas antes de poner en funcionamiento todo el sistema ya que de esta manera se puede corregir errores y evitar accidentes o pérdidas muy graves dentro del proceso productivo.

- **Entrenamiento:** Se realiza una capacitación de cómo usar el HMI a todo el personal que se encuentre a cargo del proceso como al área de mantenimiento, ingeniería y operadores.
- **Comisionamiento:** Se pone en marcha todo el proceso productivo en donde funcionan en conjunto la HMI y el sistema de control, para verificar que se cumplan todos los requisitos que se especificaron en las etapas anteriores, es muy importante en la industria tener un plan de comisionamiento.
- **Verificación:** Es muy importante que el proceso productivo sea valorado por un plan de verificación antes de poner en marcha la producción. Se observa mediante evidencia si se está cumpliendo con los requisitos del diseño.

2.8.1.4 Operación

Está conformada por las siguientes actividades:

- **Servicio:** La HMI se encuentra en funcionamiento dentro del sistema automatizado.
- **Mantenimiento:** Se realiza la corrección de errores que se hayan producido en el HMI como modificaciones en software y verificar la seguridad del sistema, también se realiza copias de seguridad de los programas, para que en el caso de que ocurra un fallo en el sistema poder repararlo de manera inmediata.
- **Decomisionamiento:** Se elaboran actualizaciones de la documentación, software y hardware del HMI, para esto se necesita capacitar al personal y realizar pruebas del sistema.

2.8.1.5 Procesos de trabajos continuos

Esta fase se encuentra presente en todo el ciclo de vida y tiene las siguientes actividades:

- Manejo de cambios (MOC): Cuando el HMI está en funcionamiento, todos los cambios que se lo realice son manejados en esta etapa, para realizar esta actividad se tiene que basar en los estándares del sistema del ciclo de vida(HMI Lifecycle, 2017).
- Auditoría: En esta actividad se verifica que el funcionamiento del HMI se encuentre bajo los estándares del sistema, todas estas auditorías tienen que ser documentadas para tener un respaldo en la empresa.
- Validación: Se elabora evidencias las cuales garantizan un alto grado de seguridad a la empresa de que el proceso se está ejecutando bajo las condiciones predeterminadas.

2.8.2 Ingeniería de factores humanos y ergonomía

Para que el diseño de una HMI sea eficiente, versátil y de fácil manejo se tiene que tomar en cuenta todos los aspectos que le proporcionen comodidad de uso al operador del proceso, los cuales son:

- La apariencia de la HMI debe ser adecuada para que la información sea fácil de observar y entender por parte del operador.
- En la HMI se debe priorizar la tarea principal.
- Se tiene que satisfacer las necesidades del operador.
- El HMI debe ser intuitivo para el personal a cargo del proceso productivo.
- La HMI debe tener la capacidad de manejar bien los diferentes modos de operación y el control de las diferentes alarmas.
- La información que se muestre en la HMI debe ser presentada en un formato correcto y de fácil acceso para el operador.

Para que el diseño de la HMI se considere ergonómico se debe tomar en cuenta los límites visuales y auditivos del operador, además analizar la iluminación del entorno en donde se implantará la HMI, para no producir una fatiga visual al personal encargado del proceso (Marketing, 2015).

El uso de color en las pantallas de la HMI, tienen que ser neutros y que exista un contraste y por otro lado tener un brillo apropiado. En las alarmas los colores deben ser reservados y no ser utilizados para otra aplicación. El color se lo tiene que usar de manera moderada para una correcta visualización de la información en la HMI. En los símbolos el color tiene que llamar la atención al operador informándole del estado actual del sistema. Los fondos de pantalla deben tener colores neutros para que la información presentada sobresalga y exista un contraste (HMI Lifecycle, 2017).

2.8.3 Tipos de pantallas y estructura general del HMI

La norma ISA 101 determina algunos tipos de pantallas para el diseño del HMI en los siguientes niveles, para que exista una jerarquía en su visualización:

Nivel 1: descripción general de todo el ámbito de control de los operadores.

Nivel 2: descripción general de la operación de una unidad o una tarea importante.

Nivel 3 - Pantalla de detalles de tareas, incluidos los principales módulos de control.

Nivel 4 - Pantallas de diagnóstico e informativas.

2.8.4 Interacción con el usuario

En esta sección de la norma ISA 101 se especifica tanto software como hardware necesarios para que los operadores puedan relacionarse con la HMI. Para que la interacción máquina humano

sea la correcta se debe tomar en cuenta factores como: ingresa de datos, el tipo de navegación entre las pantallas de a HMI, la solución ante errores y la seguridad del sistema.(HMI Lifecycle, 2017)

Se debe seguir las siguientes recomendaciones para realizar un buen diseño de HMI y exista una buena interacción máquina hombre:

- Para presentar números en la pantalla el formato debe ser el adecuado en cuanto a enteros y decimales.
- La justificación del texto se la debe hacer en la dirección que los operadores leen normalmente.
- Todo acrónimo o abreviatura se debe evitar.
- No usar subrayado, solo se lo debería emplear para hipervínculos.
- Toda sección de entrada de texto y comandos deben tener un tamaño adecuado para que sean visibles para los operadores.
- La etiqueta de un botón debe ser muy claro y estar relacionado con la función del mismo.
- El diseño de las pantallas emergentes deben tener el tamaño adecuado para que no cubra alguna parte importante del HM.
- La navegación entre pantallas se las debe considerar bajo tres tipos: secuencial, relacional y jerárquico.
- Para poder tener una navegación entre pantallas se puede utilizar: barras de herramientas, botones, enlaces, pestañas, etc.
- Se debe poner seguridad en la HMI como: inicios de usuarios, niveles de acceso y privilegios, impedimento de visualización e ingreso de contenido, etc.
- Se debe considerar un tamaño adecuado del dispositivo HMI, para que pueda mostrar el diseño de manera correcta.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA

En el presente capítulo se describirá el diseño del sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA), las especificaciones de software y hardware necesarias para diseñar los subsistemas eléctrico, electrónico, de instrumentación, y la interfaz hombre máquina, para cumplir con la repotenciación del proceso de llenado y tapado para el área de medicamentos líquidos del laboratorio farmacéutico Lamosan Fase 1.

El diseño se lo realiza tomando en cuenta la situación actual de la máquina encargada del proceso y también se considera todas las condiciones que debe abarcar la repotenciación como por ejemplo escoger equipos eléctricos y de instrumentación que sean robustos, flexibles y muy fáciles de adquirir en el caso de que exista algún problema.

Para llevar a cabo el diseño eléctrico y de instrumentación se tuvo que realizar un análisis de cómo se va a sustituir elementos viejos o agregar elementos nuevos, para que se pueda realizar un automatización segura y satisfaciendo las necesidades del área de producción.

3.1 Situación actual de la máquina de llenado y tapado

El laboratorio Farmacéutico Lamosan, utiliza una máquina que ha sido adquirida hace mucho tiempo, por tal motivo tiene tecnología muy antigua y algunos equipos eléctricos y electrónicos en malas condiciones, los mismos que producen tiempos muertos durante el proceso productivo, y esto provoca pérdida de tiempo y dinero lo que no es viable para las empresas.

El principal problema en la máquina es el controlador que se utiliza, ya que es uno de tecnología antigua y difícil de reparar, tener repuestos y no poder hacer otro tipo de aplicación con el mismo, lo que se evidencia es lo siguiente:

- Es un PLC muy antiguo de la familia Telemecanique y cuya serie es TSX 1702028m, por lo que es muy difícil encontrar repuestos en la actualidad.
- Es un PLC compacto lo que significa que todo se encuentra en la misma estructura como el CPU, la fuente de alimentación, el puerto de comunicación o de programación y las entradas y salidas limitadas.
- En el área de mantenimiento ya no cuentan con el equipo para poder programarlo, por este motivo cuando sucede fallas tienen que acudir a terceros que dispongan del equipo necesario para poder programar el PLC.
- El lenguaje de programación que se requiere para el PLC Telemecanique es de awl (lista de instrucciones), y es otro problema para el personal de mantenimiento ya que no se tiene conocimiento sobre el mismo.
- No hay como expandirse debido a su limitado número de entradas y salidas.

La cinta transportadora y la mesa de pulmón, funcionan independientemente y también existen problemas debido a que poseen motores muy antiguos y que deben dar un continuo mantenimiento, para que no existan paros en la producción.

Posee un panel de control donde se puede dar inicio, pausa, paro de emergencia y se puede controlar la velocidad de la banda. La perilla que se encargara de regular la velocidad de la banda ya no funciona, por este motivo funciona a una única velocidad. Los demás componentes como los pulsadores, switch e indicadores funcionan correctamente.

Los actuadores neumáticos hay algunos que funcionan correctamente pero otros en ciertas ocasiones se atascan y no trabajan de la manera óptima que deberían. Las electroválvulas también han sido reparadas por motivo de alguna falla en el solenoide.

Las válvulas overflow las cuales son las encargadas de llenar las botellas, si funcionan de manera correcta pero son de tecnología antigua.

En la fase del tapado de las botellas utilizaban un taladro que adecuaron el personal de mantenimiento, pero por fallas eléctricas ya no funciona, y por el momento se lleva acabo el cierre de manera manual utilizando un obrero.

Dispone de un tablero eléctrico en donde no se separa la parte de potencia y control, no tiene una correcta distribución de los componentes eléctricos, no hay canaletas para ocultar los cables, por lo que es un tablero desordenado y peligroso ya que no existe un correcto cableado y armado dentro del mismo.

Para poder suministrar la mezcla final del jarabe proveniente de un tanque hacia otro, se lo tiene que hacer de manera manual un obrero tiene que abrir y cerrar una válvula tomando en cuenta que el tanque secundario no quede vacío o se llene demasiado.

No hay alarmas que alerten a los operadores de alguna falla presente dentro del proceso, por tal motivo el personal del área de calidad tiene que estar constantemente verificando, nivel de líquido en las botellas, y en el caso del tanque el operador tiene que estar siempre alerta de que no suceda el caso de vaciarse totalmente o llenarse demasiado el tanque.

3.2 Requerimientos del sistema

Para el correcto funcionamiento de la máquina y que funcione a su máxima capacidad se requiere de un repotenciación tanto en hardware como en software, por tal motivo es necesario llevar a cabo un diseño que tenga tecnología actual, robusta y confiable. De esta manera asegurar una optimización dentro del proceso productivo.

Se requiere de un sistema con el cual se pueda controlar supervisar y monitorear todo el proceso; instrumentación y equipos eléctricos y electrónicos que permitan el correcto funcionamiento del sistema automatizado.

3.2.1 Requerimientos de Hardware

Para que el sistema automatizado funcione de una manera correcta es necesario que el diseño cumpla con los siguientes requerimientos:

- Un controlador robusto que soporte todas las condiciones ambientales en donde se va a utilizar, confiable para que garantice seguridad en el control del proceso, debe ser flexible teniendo la capacidad de adaptarse a nuevos cambios que se produzcan dentro del proceso y modular para que pueda expandirse sin en un futuro se requiere.
- El controlador debe tener una capacidad de procesamiento rápido, que maneje todas las señales y variables de manera rápida, debido a que en el ámbito farmacéutico no puede haber retardos.
- El controlador debe ser de una marca conocida, fácil de programar y que tenga repuestos en caso de fallas.
- Reemplazar todos los actuadores neumáticos presentes en la máquina.

- Para poder controlar todas las variables, debe tener módulos de E/S discretas y módulo para salidas analógicas.
- El tablero eléctrico debe contener los equipos de control y fuerza distribuidos correctamente, debe ser del tipo NEMA 12 para uso industrial, y con un grado de protección IP 65.
- Dentro del tablero eléctrico se debe tener una distribución eléctrica de 220 V AC, 110 V AC y 24 V DC.
- Los sensores que se utilicen para la automatización, deben ser compatibles con el controlador, su alimentación sea de 24 V DC, y que sean precisos.
- Utilizar variadores de frecuencia para poder modificar la velocidad de las bandas transportadoras y la mesa de pulmón, desde el controlador.
- Aumentar una banda transportadora para poder seleccionar las botellas que tengan un nivel incorrecto de líquido, y vaciarlas.
- Cambiar las válvulas overflow por otras que cumplan con el mismo funcionamiento, pero modernas y con nueva tecnología.
- Debe tener balizas con las cuales se va a poder informar visualmente cual es el estado en el que se encuentra el proceso.
- Debe tener dos computadoras una para la parte de calidad en donde se va a mostrar información relevante del proceso, y otra para el HMI en donde se va a poder monitorear todo el proceso.
- Un brazo neumático el cual va a ser el encargado de vaciar las botellas que tengan el nivel incorrecto de líquido.
- Para regular la posición de las válvulas overflow, se requiere de dos actuadores neumáticos lineales los mismos que se van a acoplar a una estructura y serán controlados por medio de una válvula proporcional.

- Debe tener sensores tipo flotador dentro del tanque para saber cuándo se va a vaciar o llenar, y de tal forma se active o se desactive una válvula de solenoide por medio de un controlador de nivel.
- Una actualización en el panel de control, con nueva nomenclatura y cambio de pulsadores y switch.

3.2.2 Requerimientos de software

- Monitorear y supervisar en tiempo real el proceso productivo.
- Visualización de información necesaria para el área de calidad.
- Poder manejar el proceso de manera remota.
- Restringir el acceso a personal no autorizado para modificar parámetros de control del proceso.
- Visualización de información en tiempo real.
- Tenga compatibilidad con el controlador y los computadores.
- Visualización del origen de las alarmas.
- Poder observar el estado de los actuadores, sensores y el proceso en general.
- Visualizar que usuario está dentro del sistema, ya sea el operador o el jefe de producción.
- Intuitivo, sencillo de manejar y comprender para el personal que lo va a utilizar.

3.2.3 Requerimientos de red

- Compatibilidad con el controlador y los distintos equipos que comparten información durante el proceso.
- Debe ser robusto y confiable.
- Debe tener la capacidad de ser escalable.

3.3 Descripción de la solución

En la figura 20 se puede observar un esquema donde se propone una solución para el sistema automatizado.

Tomando en consideración toda información planteada anteriormente, los elementos que deben conformar el sistema son:

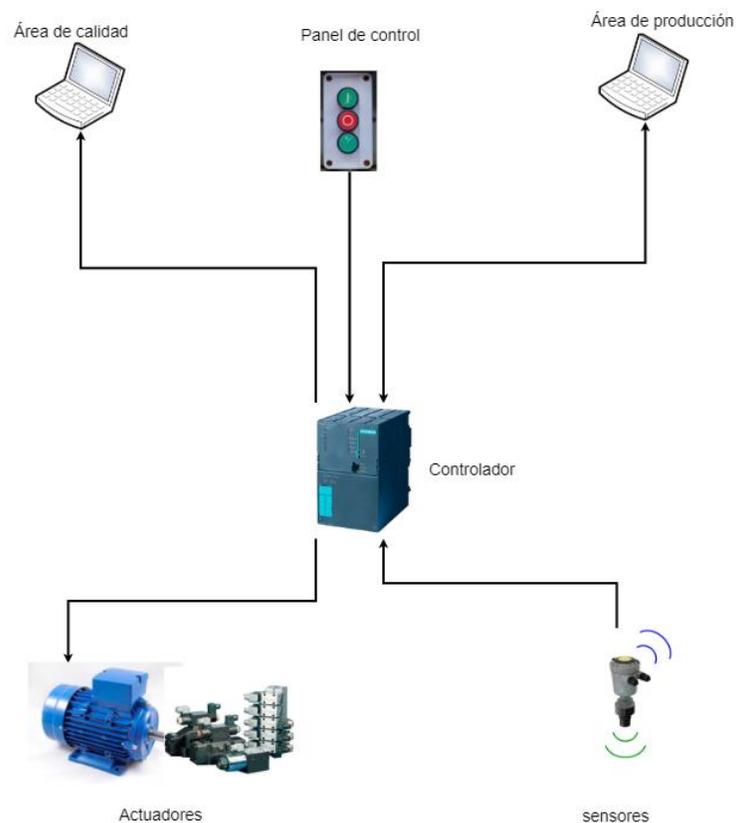


Figura 20.Arquitectura del sistema Automatizado

- Panel de control.
- Un computador en donde se podrá visualizar el HMI, en el área de producción.
- Un computador para el área de calidad, donde se podrá observar información relevante del proceso.

- Un controlador el cual se va a encargar de controlar todo el proceso productivo.
- Sensores y actuadores.

3.3.1 Análisis de las señales a nivel de campo

Para tener un correcto diseño de los subsistemas eléctricos y electrónicos que se requiere en la repotenciación de la máquina, es necesario realizar un análisis de las señales que se van a manejar en la automatización del proceso. En esta caso se va a trabajar con la lógica 1 o 0, donde el 1 representa si se encuentra una entrada o salida activada donde su equivalente es 24 V DC, por el contrario 0 significa que las salidas o entradas se encuentran desactivadas y su correspondiente valor es 0 V DC.

Para poder escoger un controlador para la automatización del proceso es necesario conocer cuántas entradas y salidas tiene el sistema. Tener en cuenta que tipo de entradas y salidas son, ya que pueden ser discretas o analógicas. Por tal motivo para la activación de las electroválvulas, contactores, relés, control de velocidad por medio de los variadores de frecuencia y balizas se lo realizará con 24 V DC. En la tabla 2 se puede observar más detalladamente las salidas discretas que se requiere.

Tabla 2
Lista de salidas discretas

Dispositivo	Número de señales
Electroválvulas	15
Contactores	3
Relé	1
Balizas	3

CONTINÚA

Variador de frecuencia	2
------------------------	---

Para poder controlar el encendido de los motores se van a utilizar contactores, que mediante una señal del controlador permitan el paso de corriente. Para manejar el control de algunos elementos que requieran más voltaje se van a utilizar relés.

Se va a utilizar tres balizas de diferente color para poder informar de manera visual cual es el estado de la máquina, como por ejemplo: Verde → Proceso en marcha, Naranja → Proceso en pausa y Rojo → Falla dentro del proceso.

Para controlar la velocidad de las bandas transportadoras se requiere dos salidas discretas que ingresen los variadores de frecuencia y con lógica binaria llevar a cabo el control de velocidad.

Para el control de los actuadores neumáticos lineales como rotatorios que se requieren dentro del sistema automatizado, se va a utilizar electroválvulas neumáticas que van a ser comandadas por el controlador.

Para las entradas del controlador se va a manejar con sensores que de la misma forma se manejen con 24 V, y con la misma lógica 24 V cuando se encuentre activado y 0 V cuando este desactivado.

Y también se toma en cuenta los pulsadores, switches que se van a utilizar, para saber el número total de entradas que se requiere para el controlador.

En la tabla 3 se puede observar el tipo de entrada y el número de las señales que se requiere dentro de la repotenciación.

Tabla 3*Lista de entradas discretas*

Tipo de dispositivo	Número de señales
Sensor Capacitivo	5
Sensor fotoeléctrico	1
Sensor Magnético	12
Pulsadores	3

Se utilizará sensores capacitivos para llevar a cabo la detección de botellas dentro del proceso productivo, ya que con este tipo de sensor se puede detectar materiales metálicos o no metálicos garantizando que en el área puedan utilizar botellas de cualquier tipo de material.

El sensor fotoeléctrico será usado para la parte de calidad, en donde se verificará si la cantidad de líquido dentro de las botellas es el correcto, lo que se va a utilizar es un emisor el cual envía un haz de luz hacia un receptor. Los sensores magnéticos van a ser utilizados para saber cuál es la posición de algunos de los actuadores neumáticos que serán utilizados dentro de la automatización del proceso.

Para el panel de control se va a utilizar dos pulsadores uno que va a dar inicio a todo el proceso, y otro para pausar, se va a utilizar un interruptor para parar la producción en caso de alguna emergencia.

Se va a utilizar una señal analógica la cual se va a manejar de 4 a 20 mA, para el control del actuador lineal que va a ayudar a posicionar las válvulas overflow dependiendo la presentación de la botella, regulando el paso de aire y de esta manera mover el actuador la distancia necesaria para poder llenar las botellas de las diferentes presentaciones.

3.3.2 Análisis del controlador y software

Tomando en cuenta los requerimientos para la repotenciación del sistema y con el análisis de las señales a nivel de campo, se puede proponer alternativas de equipos y software que pueden formar parte en la repotenciación, las mismas que serán descritas a continuación.

3.3.2.1 Propuesta de controladores

Para poder escoger el tipo de controlador que se va a utilizar, se debe tomar en cuenta las principales características que se describió con anterioridad en los requerimientos y el número de entradas que son 11 y las salidas que son 24. Para esto se va a escoger 3 dispositivos, que posteriormente serán calificados en una matriz de priorización y de esta manera se podrá elegir el controlador que mejor se adapte al sistema y que cumpla con los siguientes requerimientos:

- Robusto, fiable y escalable.
- Modular.
- De uso industrial.
- Capacidad de procesamiento rápida.
- Marcas conocidas.

3.3.2.1.1 S7-1500

Es un PLC de la marca Siemens modular, y que está siendo utilizado en el ámbito industrial, es de gama media y alta, por lo que es un dispositivo que se adapta a los requisitos del sistema cuyas características se observan en la tabla 4.

Tabla 4*Características del PLC S7-1500*

CPU 1511-1 PN	
Memoria de trabajo	1 Mbyte
Micro memory Card	2Gbyte
Interfaces integradas	PROFINET
Módulos de entradas y salidas digital y analógica	si
Memoria de trabajo para código	150 Kbytes
Tiempos de procesamiento	Operaciones de bits \rightarrow 0.06 μ s Operaciones de palabra \rightarrow 0.072 μ s

3.3.2.1.2 S7-1200

Es un PLC muy utilizado dentro de la automatización de procesos de la marca Siemens, modular, es ideal para el manejo de entradas y salidas discretas y que se acomoda a las especificaciones del sistema cuyas características se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5*Características del PLC S7-1200*

CPU 1214C	
Memoria de trabajo	50 Kbytes
Memoria de carga	2 Mbytes
Entradas y salidas integradas	14 entradas/ 10 salidas
Interfaces integradas	PROFINET
CONTINÚA	

Módulos de entradas y salidas digital y analógica	si
Tiempos de procesamiento	Operaciones de bits → 0.1 μs Operaciones de palabra → 12 μs

3.3.2.1.3 Logo

Es un PLC de gama baja que se lo utiliza en aplicaciones pequeñas, es modular y sus características se pueden observar en la tabla 6.

Tabla 6

Características del PLC Logo

LOGO 230 RCE	
Memoria	400 bloques
Micromemory Card	No tiene
Interfaces integradas	Ethernet
Módulos de entradas y salidas digital y analógica	Si

3.3.2.1.4 Selección de las alternativas de controladores

Para poder seleccionar la mejor alternativa que se acople a la repotenciación del sistema se va a utilizar una matriz de priorización como se puede observar en la tabla 7, la misma que es una herramienta para poder escoger la mejor alternativa a base de una ponderación de ciertas características de los diferentes controladores que se han propuesto para la solución. La ponderación se la va a realizar del 1 al 10.

Tabla 7
Matriz de priorización

	Precio	Certificació n	Memor ia	Velocidad de procesamien to	Modul ar	Comunicaci ón	tota l
	Alto(1)	Alto(10)	Alto(10)	Rápido(10)	Si(10)	Dos interfaces (10)	
	Medio(5)	Medio(5)	Medio(5)	Medio(5)	No(1)	Una interfaz(7)	
	Bajo(10)	Bajo(1)	Bajo(1)	Lento(1)			
S7-1500	3	10	10	10	10	10	53
S7-1200	9	10	10	9	10	7	55
Logo	10	8	5	5	10	7	43

Una vez realizada la ponderación de la matriz de priorización, se elige trabajar con el PLC S7-1200.

3.3.2.2 Propuesta de Software para la elaboración del HMI

Para ver que software es el necesario para llevar acabo la elaboración del HMI, de la misma manera hay que tomar en cuenta los requerimientos de software para llevar a cabo una correcta repotenciación del sistema.

3.3.2.2.1 Wonderware

Wonderware es un líder en el ámbito industrial para el uso de HMI y sistemas SCADA, posee un software que se adapta a la aplicación que se requiere, el cual es INTOUCH y posee las siguientes características:

- Posee una biblioteca con una amplia gama de gráficos y símbolos para poder representar procesos industriales.
- El usuario al implementar un HMI en intouch, puede mejorar de manera significativa la efectividad de un proceso y tomar decisiones de manera rápida ante situaciones que ocurren en tiempo real.
- La interacción entre hombre y maquina es mucho más fácil y sencilla.
- Se puede monitorear, controlar y supervisar un proceso industrial ya sea de manera local o remota desde cualquier lugar y a cualquier hora.
- La interfaz se puede comunicar con varias marcas de PLC.
- Tiene un medio que permite la comunicación con un servidor OPC.
- Dependiendo del número de tags que se van a utilizar en la aplicación, se debe activar la licencia.

3.3.2.2.2 Schneider IGSS

Es un software que es utilizado dentro de la automatización industrial, cuyas características son:

- No depende del hardware, ya que posee una gran variedad de drivers.
- Soporta una comunicación entre un servidor OPC
- Se puede presentar los datos del proceso en curvas de tendencia, en donde también se puede presentar un informe y la utilización de históricos.

- Posee una biblioteca con símbolos industriales para poder representar el proceso.
- Es fácil de manejar e intuitivo para el usuario.
- Posee de ayudas web con videos tutoriales.

3.3.2.2.3 Inductive Automation

Inductive Automation presenta su software Ignition el mismo que es muy popular en la automatización de procesos y que presenta las siguientes características:

- La licencia del software varía de acuerdo a la cantidad de servidores que se vayan a utilizar dentro del sistema.
- Posee varias librerías para la interpretación de procesos industriales.
- Es escalable y compatible con cualquier hardware.
- Permite conectarse con bases de datos.
- Permite generar HMI's optimizadas, pudiendo analizar las datos en tiempo real.

3.3.2.2.4 Selección de las alternativas de software para HMI

Para poder seleccionar un software que se ajuste a los requerimientos de sistema, se va a utilizar una matriz de priorización, como se realizó con los controladores, en la tabla 8 se puede observar la ponderación que va a calificar ciertos parámetros para poder tomar una decisión. La ponderación se la va a realizar del 1 al 10.

Tabla 8
Matriz de priorización

	Precio	Animación	Intuitiv	Cantidad de	Compl	Comunicaci	tota
	de	del proceso	o	Librerías	ejidad	ón	l
	Licencia	Bueno(10)	Alto(10	Rápido(10)	Alto(1)	OPC	
	Alto(1)	Medio(5))	Medio(5)	Medio(Si(10)	
	Medio(5	Malo(1)	Medio(Lento(1)	5)	No(1)	
)		5)		Bajo(1		
	Bajo(10)		Bajo(1)		0)		
Intouch	5	10	10	10	10	10	55
Ignition	8	8	7	10	10	10	53
IGSS	10	8	5	10	10	10	53

Una vez analizada la tabla de priorización se va a escoger el Software de wonderware Intouch.

3.3.2.3 Propuesta de OPC

Para que el software y el hardware compartan información sin ningún problema, es necesario utilizar un servidor OPC.

3.3.2.3.1 KepServerEx 6

Es una herramienta que permite compartir información dentro de un proceso industrial, ya que se trata de un servidor OPC cuya principal aplicación es la de mantener conectados controladores y otros dispositivos que requieran compartir información. Dentro de la automatización industrial algunas de sus principales características son:

- Permitir la comunicación entre diferentes controladores de automatización que tienen diferentes protocolos de comunicación.
- Vincular la información de los procesos productivos con el área de la gestión administrativa.
- Crear una base de datos de todos los tags relacionados dentro del proceso industrial.
- Permite que la automatización industrial se integre al internet de las cosas, algo que está siendo muy usado en la actualidad.

3.3.2.3.2 RSLinx Classic

Es una herramienta de comunicación industrial solamente para dispositivos Rockwell Automation, posee las siguientes características:

- Permite comunicar PLC's Allen Bradley con HMI's o touch panel.
- Permite importar la lista de las variables del programa que se encuentra en el PLC, y transformarla en información que se pueda compartir.
- Es un software sencillo de configurar los parámetros de comunicación.
- Se instala junto con el paquete de RSLogix 5000.

3.3.2.3.3 DAServer

Es una función que viene integrada en la instalación de Intouch, cuyas características son:

- Permite integrar varios protocolos dentro de una misma estructura de automatización.
- Permite compartir información entre varios tipos de PLC's
- No tiene un número máximo de tags que se puedan compartir.

3.3.2.3.4 Selección de las alternativas de OPC

Para seleccionar el servidor OPC que cumpla con los requerimientos para la repotenciación del sistema, se va a utilizar la matriz de priorización como se puede observar en la tabla 9. La ponderación se la va a realizar del 1 al 10.

Tabla 9
Matriz de priorización

	Precio de Licencia Alto(1) Medio(5)) Bajo(10)	Calidad de comunicación Bueno(10) Medio(5) Malo(1)	Intuitiv o Alto(10)) Medio(5) 5) Bajo(1)	Cantidad de Drivers Bastantes(10)) Medio(5) Pocos(1)	Comple jidad Alto(1) Medio(5) Bajo(10)	total
KepServ	10	10	10	10	10	50
erEx 6						
RSLinx	8	10	8	10	10	46
Classic						
DAServ	10	8	6	10	10	44
er						

Una vez analizada la matriz de priorización y con la suma de las ponderaciones se toma la decisión de escoger el servidor OPC de la marca Kepware Kepservex 6.

3.4 Diagrama de flujo de proceso

Para comprender de mejor manera el proceso productivo de llenado y tapado de medicamentos líquidos se elabora un diagrama de flujo de proceso como se observa en la figura 21, en donde se va a poder observar todas las actividades involucradas dentro del mismo y la relación que existe entre cada una de ellas.

El proceso se describe mediante las siguientes etapas:

- Abastecimiento de medicamento al tanque de tipo pulmón: En esta etapa los operadores llenan el tanque de forma manual, abriendo una válvula que permite el paso de líquido, proveniente de un tanque secundario.
- Calibración altura de botellas: Se regula la torre que posee las boquillas encargadas de llenar las botellas.
- Calibración de la cantidad de líquido: Para controlar la cantidad de líquido con el que se va a llenar las botellas se lo hace de manera manual moviendo el perno de calibración.
- Recepción de botellas: Las botellas son colocadas en la mesa de acumulación giratoria pulmón de manera manual por parte de los operadores.
- Transporte: Una cinta transportadora es la que traslada las botellas, desde la mesa de acumulación hasta la etapa de llenado y posteriormente al tapado.
- Llenado: Los émbolos son abastecidos de líquido, por medio de unas mangueras que están unidas a una flauta distribuidora del tanque, después son accionadas las válvulas overflow que permiten el llenado de las botellas.

- **Calidad:** si las botellas no son llenadas con el nivel correcto de líquido, son separadas del proceso y se vacía el contenido, para que posteriormente las botellas que han sido vaciadas sean colocadas en la etapa inicial de llenado.
- **Tapado:** Las botellas pasan por una máquina dispensadora de tapas, posterior a la colocación de la tapa, pasan por un taladro, cuya función es cerrar correctamente las botellas.
- **Paletizado:** Al final de la línea de producción, los operadores proceden a retirar las botellas de la banda transportadora y colocarles en pallets, para que posteriormente sean llevadas al área de empaque.

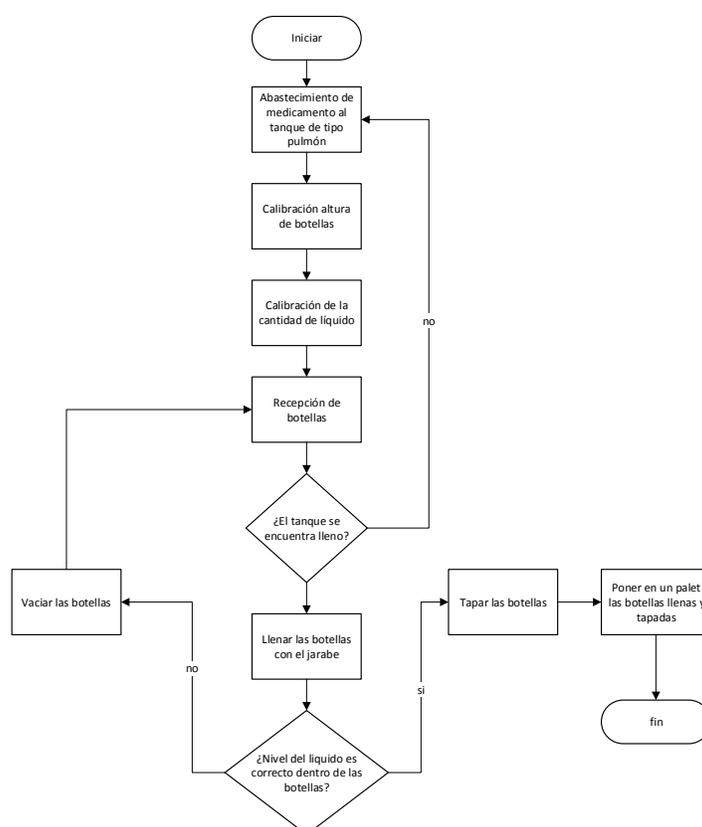


Figura 21.Diagrama de flujo del proceso

3.5 Diagrama unifilar

Para poder comprender el sistema eléctrico que se encuentra inmerso dentro de la repotenciación del sistema, se realiza el diagrama unifilar que se presenta en el Anexo A en donde se observa algunos de los componentes eléctricos y electrónicos que se usarán en el proyecto, como también la protección y la distribución eléctrica que se va a tener. Los componentes que se colocan en el diagrama son motores, variadores de frecuencia, disyuntores, contactores, fuentes de alimentación, transformadores, etc. Este diagrama proporciona una idea general de cómo se encontrarán distribuidos los componentes eléctricos, si la alimentación va a ser bifásica, trifásica o ambas y lo más importante la protección del sistema.

Una explicación de la simbología utilizada en el diagrama unifilar, se la puede observar en la tabla 10.

Tabla 10

Descripción de la simbología del diagrama unifilar

-QA1	Breaker principal
-Q1,-Q2,-	Disyuntores
Q3,-Q4,-Q5	Termomagnéticos
-K1,-K2,-K3	Contactos N/A de contactor arranque
-K4	Contacto N/A de relé de activación
VFD	Variadores de frecuencia

CONTINÚA

-F1,-F2,-F3	Guardamotor
--------------------	-------------

GB1	Fuente de 24 V DC
------------	-------------------

3.6 Diseño del sub sistema de instrumentación

Para empezar con el proyecto, lo primero que se debe diseñar es el diagrama P&ID en donde se podrá entender el funcionamiento del proceso. Se representa la conexión de toda la instrumentación necesaria para automatizar el proceso de llenado y tapado.

La repotenciación tiene como objetivo mejorar la parte eléctrica y electrónica mas no la parte mecánica, por este motivo se integra sensores los cuales van ayudar informando el estado de algunas fases del proceso, en la parte neumática se van a cambiar algunos cilindros y se van añadir algunos más los mismos que serán controlados por electroválvulas, por los requerimientos del área de producción se propuso utilizar otra banda transportadora la cual va a llevar las botellas que no tengan el correcto nivel de jarabe, para el llenado de botellas se cambiarán las válvulas overflow por otras con tecnología más moderna, para el control de la velocidad de los motores se usan variadores de frecuencia, en cuanto al control del proceso se va a utilizar un PLC y un controlador de nivel.

Por lo tanto se dividió al proceso en pequeñas partes para poder explicar su funcionamiento a continuación:

- Preparación del jarabe y su distribución

Se tiene un tanque en donde realizan la mezcla de los diferentes jarabes, cuando ya se encuentra listo pasa por una tubería hacia el otro tanque en donde se distribuye hacia las válvulas overflow, el nivel es medido por un sensor LT que emite una señal al controlador LC para informarle que ya está muy lleno o por vaciarse, dependiendo del nivel en el que se encuentra una válvula será abierta o cerrada, como se observa en la figura 22 con esto se evita que el proceso se quede sin jarabe o se llene demasiado el tanque.

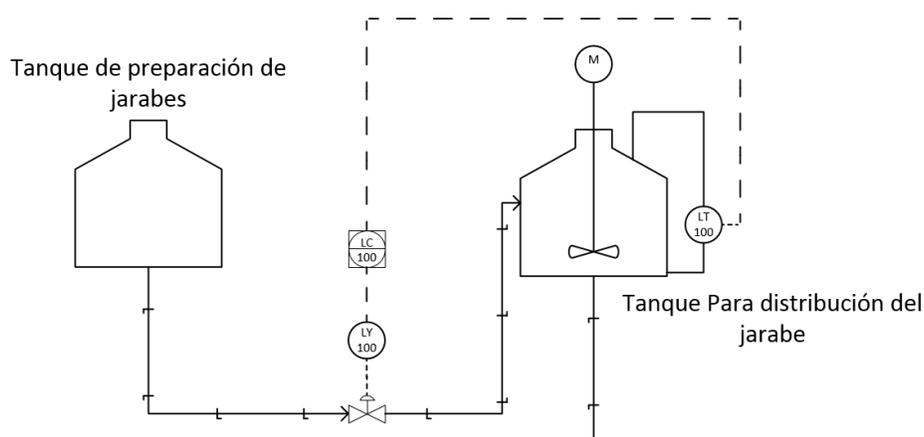


Figura 22. Preparación y distribución del jarabe

- Válvulas overflow

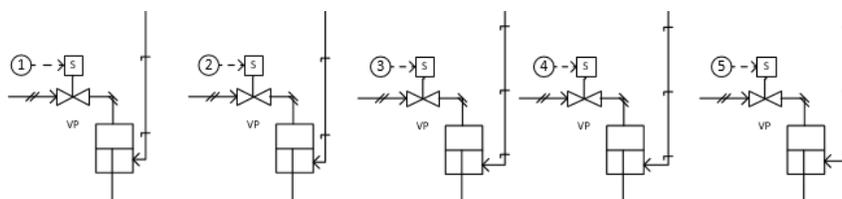


Figura 23. Válvulas overflow

Estas válvulas son las encargadas de llenar las botellas con el jarabe, funcionan mediante la activación de unas electroválvulas que permiten el paso de aire hacia las overflow, una vez que se supere la presión de la válvula overflow se abre permitiendo el paso del jarabe hacia la botella

como se observa en la figura 23. Los números que se encuentran encerrados en un círculo son las señales eléctricas provenientes del PLC, para la posterior activación de las electroválvulas.

- Dispensador de botellas

Para dispensar las botellas el operador las coloca sobre una mesa de pulmón, la cual es controlada mediante un motor y tiene solo una velocidad disponible como se observa en la figura 24, por este motivo con la repotenciación y la debida automatización se va a poder controlar la velocidad del motor con el uso de variadores de frecuencia.

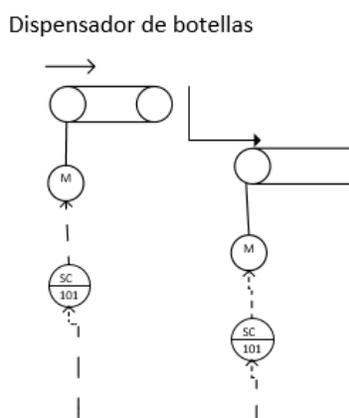


Figura 24.Dispensador de botellas

- Banda transportadora principal

En la figura 25 se puede observar que en la banda transportadora se encuentran sensores y los cilindros que permiten el correcto funcionamiento del proceso.

El cilindro A es el encargado de permitir el paso de botellas a la zona de llenado, en la misma posición se encuentra un sensor que informa cuantas serán llenadas, si pasaron 5 el cilindro A sale y ya no permite el paso de más botellas. Por el contrario el cilindro B permite el paso de las botellas

que se encuentren llenas. Se tiene un sensor cerca del cilindro B el cual va a informar si ya pasaron las cinco botellas y de esta manera el cilindro A va a permitir el paso de más frascos.

En la parte de calidad donde se va a verificar si la cantidad de líquido dentro de la botellas es la correcta, se posiciona un sensor el cual va a medir el nivel del líquido y un cilindro H que no permite que la botellas siga avanzando hasta realizar la medición y un cilindro C que empuja la botella hacia otra banda transportadora en donde se encuentra un sensor con el cual se va a contar cuantas botellas están saliendo sin suficiente líquido o por el contrario con exceso , posteriormente avanza hasta un brazo neumático G el cual va a vaciar las botellas y colocará la botella en un pallet.

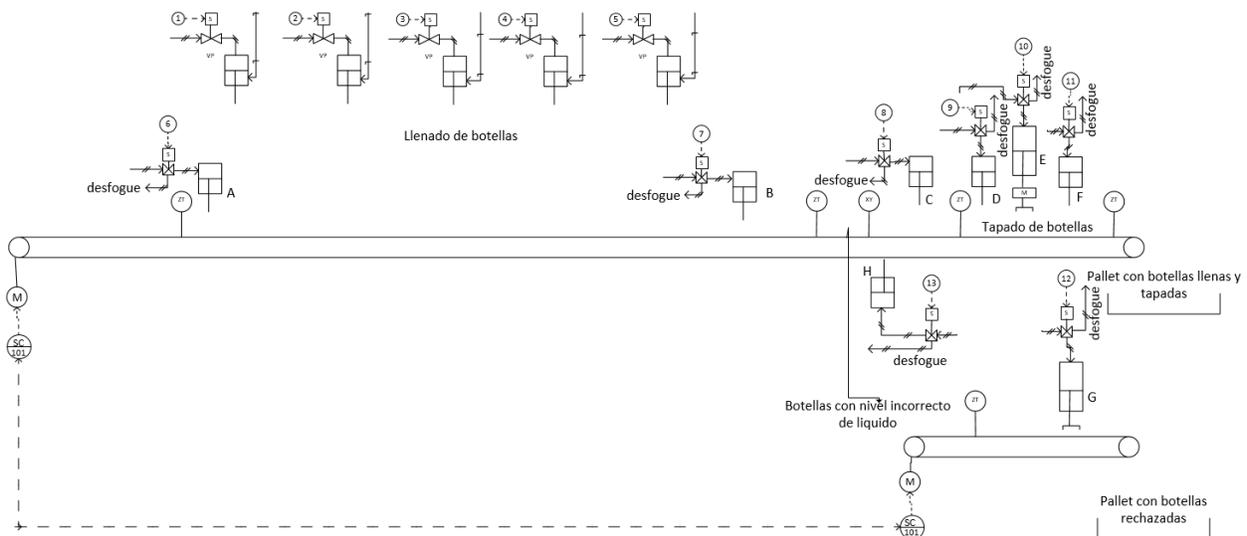


Figura 25. Banda transportadora principal

En el proceso de tapado se tiene un sensor para detectar la presencia de una botella y hacer que dos cilindros D y F la sostengan, posteriormente otro cilindro E desciende el cual tiene un motor acoplado y se lleva acabo el tapado de los frascos, al final se tiene un sensor el cual va alertar al operador y se detendrá la banda porque hay muchas botellas que no están siendo despachadas a una palet por lo que no se puede seguir con el proceso.

- Control

Para poder controlar todo lo mencionado anteriormente se va a utilizar un controlador lógico programable o PLC como se puede observar en la figura 26, el mismo que es el encargado de recibir todas las señales de los sensores y controlar de manera correcta los actuadores, para que la automatización del proceso de llenado y tapado cumpla con las especificaciones que requiere el laboratorio.

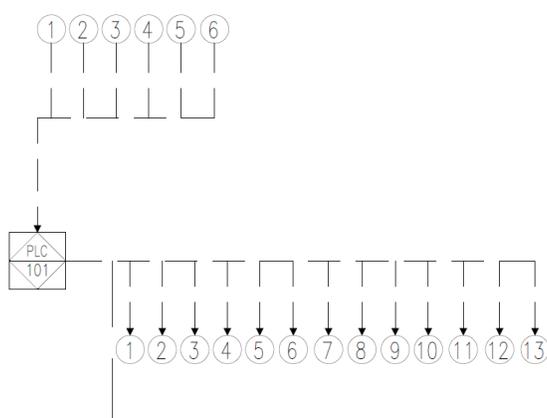


Figura 26.PLC

Los números que se encuentran encerrados en círculos como se observa en la figura 26 son señales eléctricas que salen (flecha ingresa al círculo) e ingresan (flecha sale del círculo) al PLC, para poder llevar el control de todos los actuadores y recibir las señales de los sensores, que están descritos en la tabla 11.

Tabla 11

Descripción señales eléctricas de PLC.

Salidas del PLC	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100px;"> 12345 </div>	Señales discretas para la activación de las válvulas overflow.
<div style="display: flex; justify-content: center; width: 100px;"> 6 </div>	Señal discreta para la activación del cilindro A.
<div style="display: flex; justify-content: center; width: 100px;"> 7 </div>	Señal discreta para la activación del cilindro B. CONTINÚA

⑧	Señal discreta para la activación del cilindro C.
⑨	Señal discreta para la activación del cilindro D.
⑩	Señal discreta para la activación del cilindro E.
⑪	Señal discreta para la activación del cilindro F.
⑫	Señal discreta para la activación del cilindro G.
⑬	Señal discreta para la activación del cilindro H.
Entradas del PLC	
①	Sensor inicio de llenado de botellas
②	Sensor final de llenado de botellas
③	Sensor verificador de nivel de contenido en las botellas
④	Sensor detección de botellas en banda de calidad
⑤	Sensor para detectar botellas en zona de tapado
⑥	Sensor detección de acumulación de botellas

3.7 Diagramas del proceso.

En esta sección se van a presentar los planos de las conexiones de los elementos eléctricos, electrónicos y neumáticos que se encuentren involucrados dentro del proceso.

3.7.1 Diagrama Unifilar

(Anexo A)

3.7.2 Diagrama P&ID

(Anexo B)

3.7.3 Diagrama de Potencia

Se especifican los componentes eléctricos que se utilizan en el diagrama de potencia, los cuales son:

- Disyuntores trifásicos para la protección de todo el sistema de potencia.
- Guarda motor para proteger los motores de algún cambio brusco de corriente.
- Tres motorreductores trifásicos los mismo que van a controlar las bandas transportadoras y la mesa de pulmón.
- Contactos de abiertos de contactores para poder energizar los variadores de frecuencia.
- Variadores de frecuencia para poder controlar la velocidad de las bandas transportadoras y la mesa de pulmón.
- Alimentación trifásica para los tres motorreductores y una alimentación monofásica para el motor de la tapadora.

Se realiza el cálculo para los disyuntores que se van a utilizar en la protección del sistema de potencia, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$I_f = k * I_N \quad (1)$$

$$I_f = 4 * 2.1$$

$$I_f = 8.4 A$$

En esta ecuación el significado de cada término es el siguiente:

I_f , corriente para saber que disyuntor seleccionar.

I_N , corriente nominal.

k , es una constante para especificar la corriente máxima que se puede tolerar antes de que la alimentación sea suspendida por la provocación de un cortocircuito.

Una vez obtenido el resultado se tiene que escoger un disyuntor de 8 A, pero como no es un valor comercial se le aproxima a 10 A. De tal manera se va a escoger un disyuntor que soporte la corriente calculada.

Para escoger la protección para el motor se tiene que observar que corriente se espera en los ramales en este caso es de 2.1 A.

En el plano de potencia se puede observar detalladamente las conexiones de todos los elementos anteriormente descritos. El plano se puede observar en el Anexo C.

3.7.4 Diagrama de control entradas discretas

Para realizar la conexión de las entradas con el PLC se debe especificar los tipos de sensores que se van a utilizar para el control del proceso, y de la misma forma especificar el tipo de pulsadores o interruptores que se van a utilizar, de esta forma tener en cuenta el número de entradas y poder escoger el módulo adecuado.

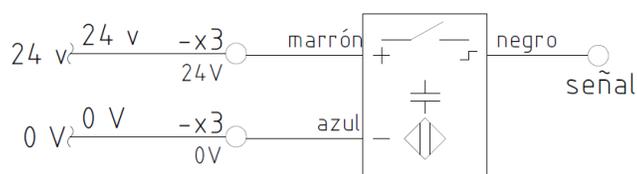
En la tabla 12 se puede observar el número de sensores, la alimentación que requieren y el número de hilos.

Tabla 12*Descripción de sensores*

Sensores	Cantidad	Alimentación	N° de Hilos
Magnéticos	12	24V DC	2
Capacitivos	5	24V DC	3
Fotoeléctricos	1	24V DC	3
Total	18		

A parte se van a utilizar 3 pulsadores para dar inicio, pausar y parar el proceso.

Un punto importante es conocer cómo se debe conectar los sensores hacia las entradas del PLC, en este caso los magnéticos que son de dos hilos se conectan como se observa en la figura 28, por el contrario los fotoeléctricos y capacitivos son de tres hilos y son PNP, por lo que su conexión es como se observa en la figura 27.

**Figura 27.** Conexión sensor de 3 hilos

Teniendo en cuenta todos los parámetros descritos anteriormente, se escogió dos módulos de 16 entradas digitales cada uno como se puede observar en el Anexo D y E, donde se va a poder observar a detalle las conexiones de los sensores y pulsadores hacia los módulos.

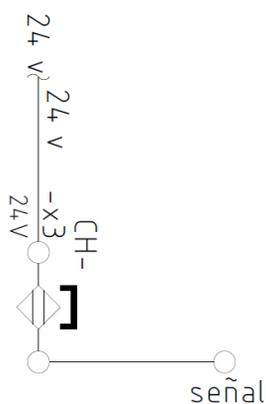


Figura 28. Conexión sensor de 2 hilos

3.7.5 Diagrama de control salidas discretas

Para realizar el plano de control de las salidas, es necesario conocer bajo que voltaje funcionan todos los dispositivos que van hacer activados por el PLC, y conocer cuántas salidas se va a necesitar como se observa en la tabla 13.

Tabla 13*Descripción salida PLC*

Dispositivo	Número de salidas	Activación
Electroválvulas	15	24 V DC
Contactores	3	24 V DC
Relé	1	24 V DC
Balizas	3	24 V DC
Variador de frecuencia	2	24 V DC
Total	24	

Aquí se van a especificar los contactos utilizados de los contactores que van a activar los motores y también como se encuentran conectados todos los dispositivos de la tabla 13 en los módulos de salidas digitales. Como se puede observar se necesitan 24 salidas en el PLC, por tal motivo se va a utilizar dos módulos de 16 salidas digitales cada uno. Las conexiones a detalle se pueden observar en los Anexos F y G.

3.7.6 Diagrama de control salida analógica

Se realiza la conexión de una válvula proporcional que funciona dependiendo de la corriente que se administre, para este caso la corriente va a variar de 4 a 20 mA, donde se controlará de altura de la estructura que tiene las válvulas overflow, todo esto dependerá si la presentación es de 60, 120 o 240 ml.

Esta válvula proporcional se va a conectar a un módulo de salidas analógicas como se puede observar en el Anexo H.

3.7.7 Diagrama de control controlador de nivel

Los elementos que se requieren para realizar el control de nivel del tanque son los siguientes:

- Sensores tipo flotador, que serán colocados dentro del tanque, informando si el nivel del jarabe está bajo o alto.
- Controlador de nivel, recibe las señales de los sensores tipo flotador y dependiendo la señal, el controlador permite la apertura de una válvula o el cierre de la misma.
- Válvula de solenoide que permite el paso del jarabe.

En la tabla 14 se puede observar el voltaje al cual funcionan todos los dispositivos, de esta manera se puede realizar el plano de conexión como se indica en el Anexo I.

Tabla 14

Elementos en el control de nivel

Dispositivo	Cantidad	Activación
Sensores tipo flotador	2	24 V DC
Controlador de nivel	1	24 V DC
Válvula de solenoide	1	24 V DC

3.7.8 Diagrama de control variadores de frecuencia

Para el control de los variadores de frecuencia, se requiere de dos salidas discretas con las cuales se podrá activar 3 velocidades como lo requiere el proceso, según lo indicado en la tabla 15.

Tabla 15*Lógica de las velocidades*

0	0	Velocidad nula 0 Hz.
0	1	Velocidad baja 15 Hz.
1	0	Velocidad media 30 Hz.
1	1	Velocidad alta 60 Hz.

Por lo tanto cuando las salidas del PLC entreguen 24 V DC equivale a 1 lógico y si entrega 0 V DC equivale a un 0 lógico. Los variadores de frecuencia que se van a utilizar tienen 4 entradas digitales, las cuales solo se van a utilizar 2, y funcionan como la lógica de la tabla 15. Estas dos entradas serán conectadas a dos salidas digitales del PLC para controlar las tres velocidades requeridas en el proceso.

La conexión de los variadores al módulo de las salidas digitales se la puede observar en el Anexo J.

3.7.9 Diagramas Neumáticos

En esta sección se debe tener en cuenta cuántos cilindros y de qué tipo se van a utilizar, igual con las electroválvulas, por eso se las describe en la tabla 16 para proceder con el plano de conexiones de todos los elementos neumáticos como se puede observar en los Anexos K y L.

Tabla 16*Componentes neumáticos*

Dispositivo	Cantidad
Cilindros simple efecto	8
Cilindros doble efecto	2
Pinza neumática	1
Motor neumático	1
Válvulas overflow	5
Válvulas 3/2	13
Válvulas 5/2	2
Valvula proporcional	1

3.7.10 Diagrama del tablero eléctrico

Para el diseño del tablero eléctrico es necesario conocer las dimensiones de los dispositivos, en la tabla 17 se puede observar las dimensiones de cada componente eléctrico y electrónico.

Tabla 17*Dimensiones de los equipos*

Equipo	Dimensiones (ancho x altura x profundidad)
SIMATIC S7-1200 CPU 1214C	110 x 100 x 75
Módulo de salidas y entradas digitales	70 x 100 x 75
Módulo de salidas analógicas	45 x 100 x 75
Fuente de alimentación de 24 V DC	70 x 100 x 75
Conmutador Ethernet industrial	60 x 125 x 124 CONTINÚA

Disyuntor trifásico	57 x 76 x 74
Disyuntor	18 x 85 x 78.5
Relés modulares de medición y control	72 x 90 x 35
Contactador	45 x 77 x 95
Variador de frecuencia	72 x 143 x 121
Guarda motor	45 x 89 x 78.2
Relé	6.2 x 78.6 x 101
Bornes	5.2 x 47.5 x 40
Bornes de separación	60 x 40 x 40
Canaleta	60 x 30 x 60

Conociendo las dimensiones de los equipos se puede establecer las dimensiones del tablero eléctrico que es 1050 x 600 x 300 mm, lo cual es un tamaño comercial. La organización del tablero eléctrico se la observa en el Anexo M.

La distribución del tablero eléctrico se la realizó como se observa en la figura 32, el mismo que se le dividió en 5 secciones:

- Alimentación y protección: En esta zona se colocó borneras para alimentar al sistema y los dispositivos de protección, los mismos que se encuentran empotrados sobre un riel din como se puede observar en la figura 29.

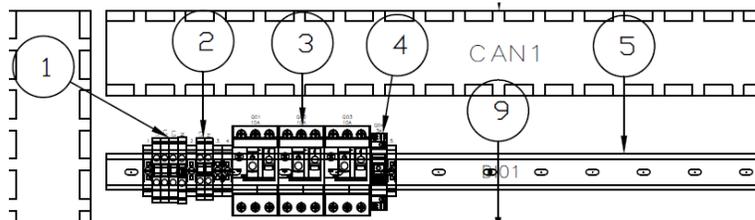


Figura 29. Sección de alimentación y protección del sistema

- Alimentación del PLC, sensores y entradas del PLC: se colocó borneras para la alimentación de los sensores y los equipos de control, también para conectar las señales que van a los módulos del PLC como se observa en la figura 30.

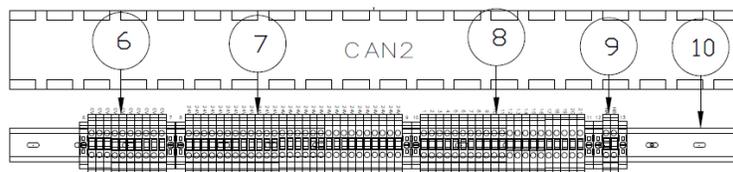


Figura 30. Alimentación del PLC, sensores y entradas del PLC

- Equipos de control: Se ubicó los equipos de control como PLC y sus respectivos módulos, el controlador de nivel, conmutador Ethernet, y la fuente de 24 V DC, como se puede observar en la figura 31.

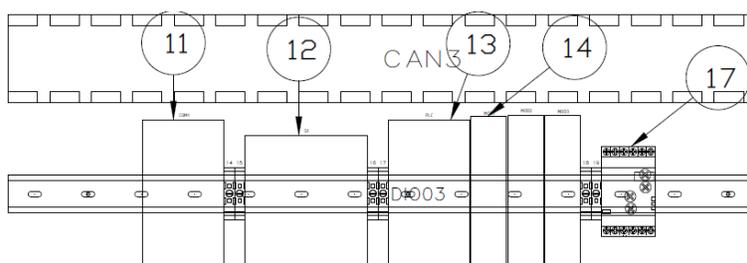


Figura 31. Equipos de control

- Pre accionadores y protección de motores: Se colocó los contactores, el relé, los variadores de frecuencia y los guarda motores como se observa en la figura 33.

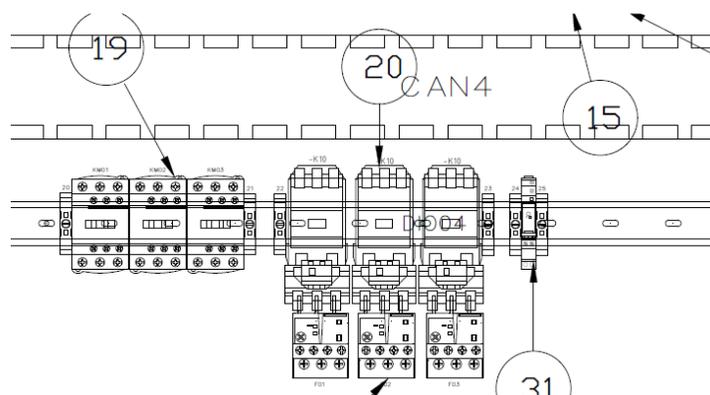


Figura 32. Pre accionadores y protección de motores

- Salidas del sistema: Se colocó borneras en donde van a salir las señales que van a controlar todos los actuadores del sistema como se observa en la figura 34.

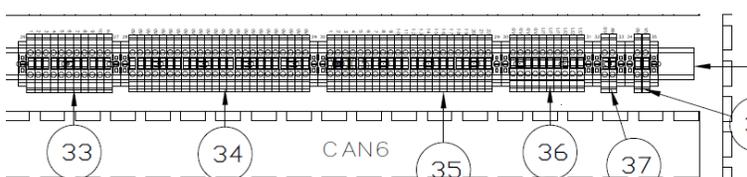


Figura 33. Salidas del sistema

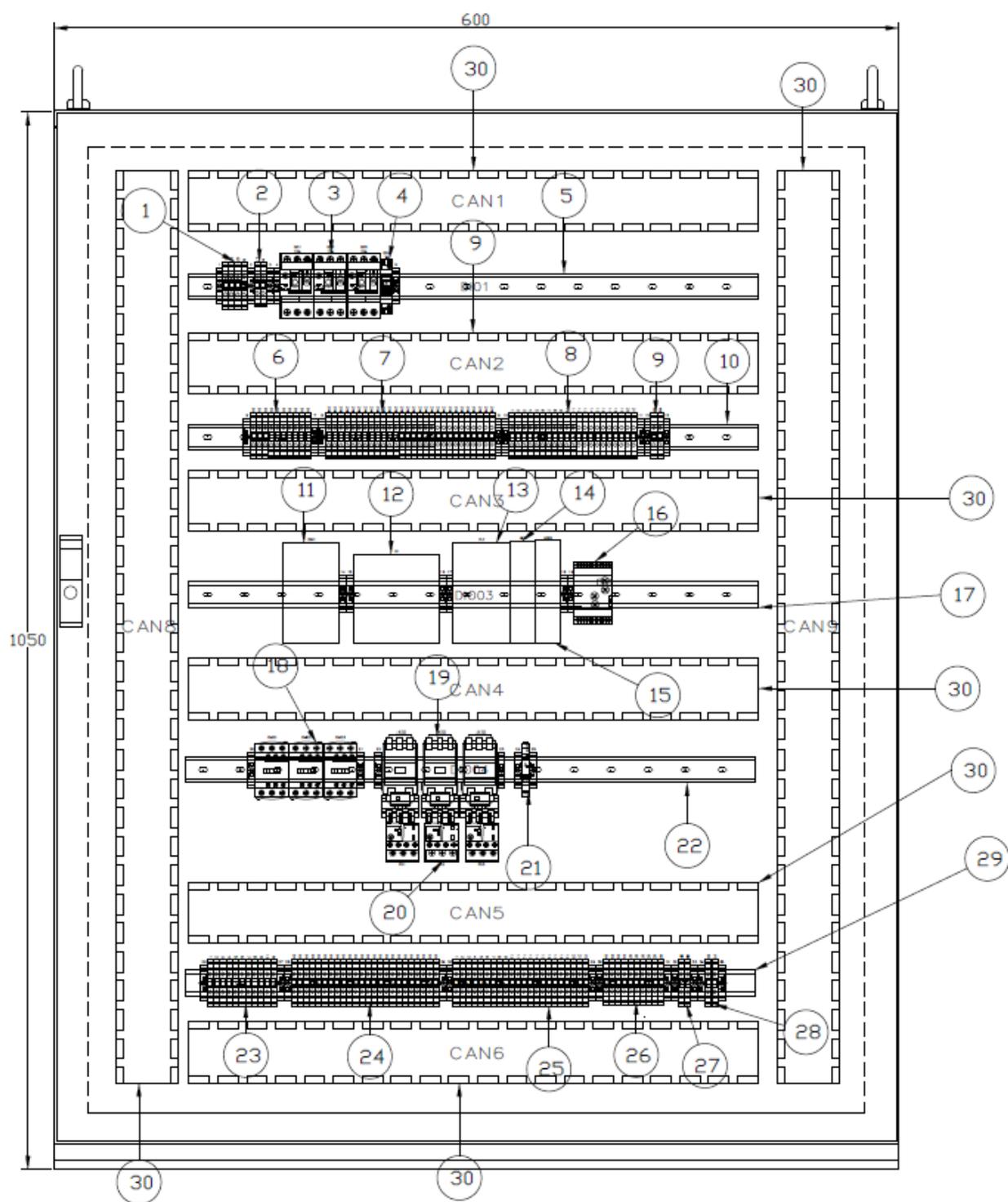


Figura 34. Tablero eléctrico

En la tabla 18 se describe los materiales enumerados que se encuentran ubicados dentro del tablero eléctrico.

Tabla 18*Descripción de materiales*

N° de Item	Cantidad	Descripción
1	4	Borneras de Alimentación para potencia L1,L2, L3 y N.
2	2	Borneras de Alimentación para fuente de 24 V DC L1 y N.
3	3	Disyuntor trifásico para circuito de potencia.
4	1	Disyuntor termo magnético para circuito de control.
5	1	Riel Din 1m
6	10	Borneras para distribución voltaje de 0 V DC.
7	28	Borneras para distribución voltaje de 24 V DC.
8	21	Borneras para conexión de las señales de los sensores magnéticos, capacitivos y fotoeléctricos.
9	2	Borneras para conexión de las señales de los sensores tipo flotador.
10	1	Riel Din 1m.
11	1	Conmutador Ethernet Industrial.
12	1	Fuente de 24 V DC.
13	1	SIMATIC S7-1200 CPU 1214C
14	1	Módulo de 16 entradas y 16 salidas digitales.
15	1	Módulo de salidas analógicas.
16	1	Relé para el control de nivel
17	1	Riel Din 1m.

CONTINÚA

18	3	Contactador trifásico para activación de motores
19	3	Variadores de frecuencia
20	3	Guarda motor para protección de motores
21	1	Relé para activación de la tapadora
22	1	Riel Din 1m.
23	11	Borneras para la activación de los motores.
24	24	Borneras para distribución voltaje de 0 V DC.
25	22	Borneras para la activación de electroválvulas, balizas y contactores.
26	10	Borneras para enviar los bits de velocidad a los variadores de frecuencia.
27	2	Borneras para la activación de la electroválvula proporcional.
28	2	Borneras para la activación de la válvula de solenoide.
29	1	Riel Din 1m.
30	8	Canaleta para guardar los cables

El panel de control tendrá una dimensión de 300 x 150 x 100 mm, como se puede observar en la figura 35.

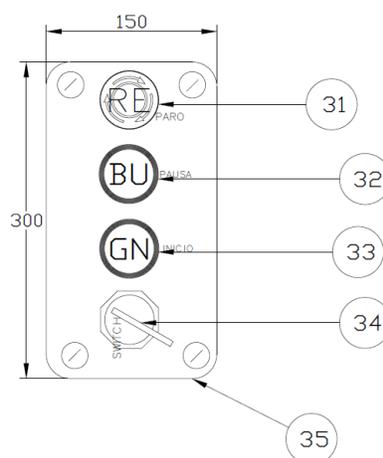


Figura 35. Panel de control

En la tabla 19 se describe los materiales enumerados que se encontrarán ubicados dentro del panel de control.

Tabla 19.

Descripción de materiales

N° de Item	Cantidad	Descripción
31	1	Interruptor rojo para activar en caso de emergencia
32	1	Pulsador azul para pausar el proceso.
33	1	Pulsador verde para dar inicio al proceso.
34	1	Switch master para energizar el proceso

3.8 Diseño de la red del sistema

Se requiere diseñar una red para la comunicación de los equipos, en donde se asigna una dirección IP a cada equipo para que permanezca en una misma red y puedan compartir información sin ningún problema y escoger una topología de red. Para este sistema se va a escoger una topología

tipo estrella y la red a la que van a estar los equipos es a la 192.168.0.X, como se puede observar en la figura 36.

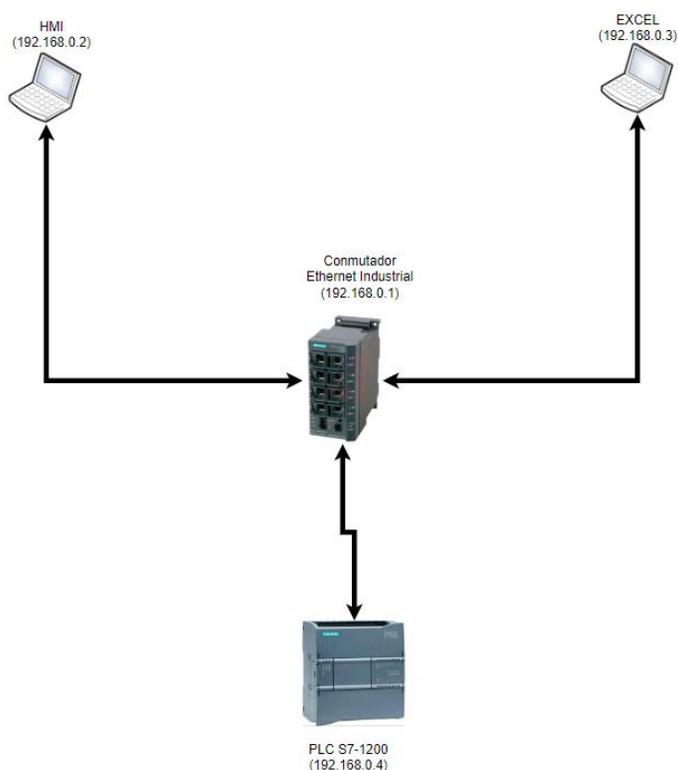


Figura 36. Estructura de la red

3.9 Selección de los componentes.

En esta sección se va a especificar los componentes eléctricos y electrónicos que se van a utilizar para la repotenciación del sistema.

3.9.1 Pulsadores, interruptores y luces piloto.

Para dar inicio al proceso se va a utilizar un pulsador de color verde como se muestra en la figura 37 con las especificaciones técnicas que se encuentran en la tabla 20.

Tabla 20*Pulsador verde*

Tipo	Pulsador verde
Diámetro de montaje	22 mm
Tipo y composición de contactos	1 NA
Endurancia mecánica	10000000 ciclos
Durabilidad eléctrica	1000000 ciclos
Corriente térmica	10 A
Temperatura ambiente de funcionamiento	-40...70 ° C
Grado de protección IP	IP69 IP67 IP66 acorde a IEC 60529 IP69K



Figura 37. Pulsador verde
para inicio de proceso
Fuente:(Schneider Electric, 2018)

Para poner en pausa al proceso se va a utilizar un pulsador de color azul como se muestra en la figura 38 con las especificaciones técnicas que se encuentran en la tabla 21.

Tabla 21
Pulsador azul

Tipo	Pulsador azul
Diámetro de montaje	22 mm
Tipo y composición de contactos	1 NA
Endurancia mecánica	10000000 ciclos
Durabilidad eléctrica	1000000 ciclos
Corriente térmica	10 A
Temperatura ambiente de funcionamiento	-40...70 ° C
Grado de protección IP	IP69 IP67 IP66 acorde a IEC 60529 IP69K



Figura 38. Pulsador azul
para pausa de proceso
Fuente:(Schneider Electric, 2018)

Para el paro de emergencia se va a utilizar un pulsador redondo como se muestra en la figura 39 con las especificaciones técnicas que se encuentran en la tabla 22.

Tabla 22*Pulsador paro de emergencia*

Tipo	Pulsador rojo con giro para liberar
Diámetro de montaje	22 mm
Tipo y composición de contactos	2 NC
Endurancia mecánica	300000 ciclos
Durabilidad eléctrica	1000000 ciclos
Corriente térmica	10 A
Temperatura ambiente de funcionamiento	-40...70 ° C
Grado de protección IP	IP69 IP67 IP66 acorde a IEC 60529 IP69K



Figura 39. Pulsador
paro de emergencia
Fuente:(Schneider Electric, 2018)

Las balizas que se van a utilizar se puede observar en la figura 40 con las especificaciones técnicas de la tabla 23.

Tabla 23

Baliza

Tipo	Baliza de color verde ,naranja y rojo
Diámetro de montaje	70 mm
Altura global	139 mm
Tipo de señalización	Verde y naranja →fijo Rojo→parpadeo
Tensión de alimentación nominal	24 V DC/AC
Tipo de bombilla	Led protegido
Consumo de corriente	< 17 mA AC
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...70 ° C
Grado de protección IP	IP65 IP66



Figura 40. Balizas

Fuente:(Schneider Electric, 2018)

Para energizar todo el sistema se va a emplear un interruptor como el de la figura 41 y con las especificaciones técnicas de la tabla 24.

Tabla 24
Interruptor

Tipo	Conmutador de leva completa
Montaje del Producto	Parte frontal
Modo de fijación	Orificio con diámetro de 16 o 22 mm
Corriente térmica	10 A
Funcionamiento de contacto	Ruptura lenta
Endurancia mecánica	1000000 ciclos
Durabilidad eléctrica	100000000 ciclos
Temperatura ambiente de funcionamiento	-20...55 ° C
Grado de protección IP	IP20 para el bloque de contactos IP65 cabezal de funcionamiento
Periodo de garantía	18 meses



Figura 41. Interruptor
Fuente: (Schneider Electric, 2018)

3.9.2 Elementos de protección, motor y variadores de frecuencia.

En esta sección se va a seleccionar los elementos de protección para los motores involucrados dentro del proceso y para todo el sistema eléctrico.

Los tres motorreductores trifásicos que se van a utilizar son como se observa en la figura 42 cuyas características técnicas se encuentran en la tabla 25.

Tabla 25

Motores

Tipo	Motorreductor trifásico
Potencia	0.5 HP
Reductor	I:40
RPM	1400
Corriente	2.1 A
Voltaje	220/380 V AC
Frecuencia	60 Hz
Grado de protección IP	IP55



Figura 42. Motor trifásico

Fuente:(TAÜSEND, 2018)

El guarda motor que se va a utilizar es el de la figura 43 cuyas especificaciones técnicas que se observan en la tabla 26.

Tabla 26
Guarda motor

Tipo	Guarda motor
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Numero de polos	3P
Tipo de red y frecuencia	AC y 60 Hz
Rango de ajuste de protección térmica	1.6 ... 2.5 A
Endurancia mecánica	1000000 ciclos
Durabilidad eléctrica	100000000 ciclos
Temperatura ambiente de funcionamiento	-20...60 ° C
Grado de protección IP	IP20



Figura 43.Guarda motor

Fuente:(Schneider Electric, 2018)

El disyuntor que se va a utilizar se lo puede observar en la figura 44 con las especificaciones técnicas de la tabla 27.

Tabla 27
Disyuntor trifásico

Tipo	Disyuntor
Corriente	10 A
Numero de polos	3P
Voltaje	120/240 V AC
Tamaño de cable	AWG 14...AWG 8 (cobre o aluminio)
Temperatura ambiente de funcionamiento	40 ° C



Figura 44. Disyuntor trifásico

Fuente: (Schneider Electric, 2018)

Para el control de la velocidad de los motores se va a utilizar el siguiente variador de frecuencia como se muestra en la figura 45 y que tiene las especificaciones técnicas de la tabla 28.

Tabla 28
Variador de frecuencia

Tipo	Variador de frecuencia
Potencia	0.5 HP
Entrada de voltaje	3 fases , 200~240 V, 50Hz/60Hz
Corriente nominal	4,9 A
Salida de frecuencia	0~400Hz
Comunicación	RS485 y MODBUS

CONTINÚA

Entradas y salidas de señal	4 Entradas digitales, 2 salidas digitales 1 entrada analógica, 1 salida analógica
Temperatura ambiente de funcionamiento	-10...40 ° C
Grado de protección IP	IP20



Figura 45. Variador de frecuencia
Fuente: (Schneider Electric, 2018)

Para proteger el sistema de control se requiere de disyuntores de una fase como el de la figura 46, para evitar que sobretensiones afecten a los equipos de control, por este motivo se escoge un disyuntor con las especificaciones técnicas de la tabla 29.

Tabla 29
Disyuntor

Tipo	Disyuntor
Corriente	3 A
Numero de polos	1P
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético

CONTINÚA

Voltaje	120/240 V AC
Temperatura ambiente de funcionamiento	-35 a 70 ° C



Figura 46. Disyuntor
Fuente:(Schneider Electric, 2018)

3.9.3 Elementos de pre accionamiento

Los contactores que se van a usar se pueden observar en la figura 47 y tienen las especificaciones técnicas de la tabla30.

Tabla 30
Contactor

Tipo	Contactador
Aplicación del contactor	Control de motor 0.5 HP 240 V AC
Número de polos	3P
Contactos	3 NA
Tensión de la bobina	24 V DC
Corriente térmica	25 A
Temperatura ambiente de funcionamiento	-5...60 ° C
Grado de protección IP	IP20



Figura 47. Contactor
Fuente: (Schneider Electric, 2018)

Para manejar el control de algunos elementos que requieran más voltaje se van a utilizar relés como los de la figura 48 y con las especificaciones técnicas de la tabla 31.

Tabla 31

Relé

Tipo	Relé
Tipo de producto	Relé de conexión
Contactos	1NA y 1NC
Tensión de la bobina	24 V DC
Corriente térmica	6 A
Tensión máxima de conmutación	277 V
Temperatura ambiente de funcionamiento	-40...55 ° C
Grado de protección IP	IP40

3.9.1 Conductores eléctricos

Para escoger los conductores eléctricos necesarios para la conexión de los circuitos de fuerza y control, se debe basar en la corriente que se espera por los ramales como por ejemplo para el de fuerza ya se realizó el cálculo en donde se va a tener 8,4 Amperios y se tuvo que utilizar un valor comercial de 10 A por tal motivo se escogió un conductor con las especificaciones que se muestra en la tabla 32.



Figura 48. Relé

Fuente: (Schneider Electric, 2018)

Tabla 32
Conductor para circuito de fuerza

Tipo	Conductor de cobre tipo THHN
Calibre	14 AWG
Tensión máxima	0,6 KV
Temperatura	90 °C
Resistencia	Humedad, calor elevado, aceite y gasolina
Capacidad de corriente	25 A

CONTINÚA

Aislamiento	Policloruro de vinilo (PVC) y chaqueta poliamida (nylon)
Número de hilos	1
Sección transversal	2,08 mm ²

Por el contrario con respecto a la instrumentación y control solo es espera mA y se requiere que las señales eléctricas no se alteren por alguna perturbación exterior por tal razón se escogió el conductor con las especificaciones que se puede observar en la tabla 33.

Tabla 33

Conductor para instrumentación y control

Tipo	Conductor tipo PLTC & ITC-OS
Calibre	18 AWG
Tensión máxima	600V
Resistencia	Abrasión, calor y humedad
Temperatura	105 °C
Capacidad de corriente	25 A
Aislamiento	PVC retardante a la llama
Número de conductores	2
Sección transversal	0,82 mm ²

3.9.2 Borneras

Se va a utilizar unas borneras como las de la figura 49 y con las especificaciones de la tabla 34.

Tabla 34*Bornera*

Tipo	Bornera Linergy
Tipo de producto	Bloque de terminales
Tipo de montaje	Ajustable en clip
Sección transversal nominal	2,5 mm ²
Tensión máxima	600 V
Corriente máxima	24 A
Temperatura ambiente de funcionamiento	-40. . . 130 °C

**Figura 49.** Bornera para conexión

Fuente: (Schneider Electric, 2018)

3.9.3 Tapadora eléctrica

Para llevar a cabo el tapado de las botellas, se requiere de un motor que realice un movimiento de 2 vueltas en 2 segundos, por tal motivo no se requiere de una tapadora que tenga un motor con gran potencia, por lo cual se ha escogido uno de 80 w con las especificaciones técnicas de la tabla 35 y como se puede observar en la figura 50.

Tabla 35*Tapadora eléctrica*

Tipo	Tapadora eléctrica
Tipo de alimentación	110 V AC, 60 Hz
Potencia	80 W
Diámetro de tapas	10 mm a 50 mm
Velocidad sin carga	1000 rev/min

**Figura 50.** Tapadora eléctrica

Fuente:(Tapadora Eléctrica, 2019)

3.9.4 PLC, módulos y Fuente

El PLC que se utilizará para la automatización del proceso es el S7-1200 como se observa en la figura 51 y con las especificaciones técnicas de la tabla 36.

Tabla 36*Especificaciones técnicas PLC S7-1200*

Tipo	SIMATIC S7-1200 CPU 1214C	
Versión de firmware	V2.6	
Paquete de programación	STEP 7	CONTINÚA

Tensión de alimentación	24 V DC Rango (20,4 – 28,8) V DC
Número de entradas digitales	14
Número de entradas analógicas	2
Número de salidas digitales	10
Memoria de trabajo	50 Kbyte
Tiempos de procesamiento	Operaciones de bits → 0.1 μ s Operaciones de palabra → 12 μ s
Interfaces integradas	PROFINET
Lenguaje de programación	KOP, FUP, AWL, SCL, CFC, GRAPH



Figura 51. PLC
S7-1200

Fuente: (Industry
Support Siemens, 2019)

Con el análisis que se realizó previamente se requiere de un módulo como se indica en la figura 52 con las especificaciones técnicas de la tabla 37.

Tabla 37*Módulo de entradas y salidas discretas*

Tipo	SIMATIC S7-1200, módulo digital SM 1223
N° de entradas digitales	16
Tensión de las entradas	24 V DC Para señal “0” → -30 a +5 V Para señal “1” → 13 a 30 V
N° de salidas digitales	16
Tensión de las salidas	24 V DC
Longitud de cable para entradas y salidas	Apantallado → 1000 m máximo No apantallado → 600 m máximo



Figura 52. Módulo de entradas y salidas digitales
Fuente: (Industry Support Siemens, 2019)

Para el control de la salida analógica el módulo que se escogió tiene las especificaciones técnicas de la tabla 38 y se lo puede observar en la figura 53.

Tabla 38*Módulo de salidas analógicas*

Tipo	SIMATIC S7-1200, Salida analógica SM 1232
N° de salidas analógicas	2
Rangos de salida de la tensión	0 a 10 V 1 V a 5 V -10 V a +10 V
Resolución	14 bits para tensión 13 bits para intensidad



Figura 53.Módulo
De salidas
analógicas

Fuente:(Industry
Support
Siemens, 2019)

Para que todos los módulos funcionen de manera correcta y en conjunto con el CPU del PLC S7-1200 se necesita de una fuente de alimentación de corriente como el de la figura 54, la encargada de abastecer de la tensión y el amperaje necesario para el correcto funcionamiento del sistema, las especificaciones técnicas se las puede observar en la tabla 39.

Tabla 39*Fuente de 24 V DC*

Tipo	SIMATIC S7-1200, fuente de alimentación MODUL PM1207
Tensión nominal de entrada	120/230 V AC, 50/60 Hz
Intensidad de entrada	A 230 V → 0,5 A A 120 V → 0,9 A
Tensión nominal de salida	24 V DC
Intensidad de salida	2,5 A
Potencia absorbida	57 W
Potencia disipada	9 W
Indicador de la tensión de salida	Si, led verde

**Figura 54.** Fuente de 24 V DCFuente:(Industry Support
Siemens, 2019)

3.9.5 Sensores

Los sensores que se van a utilizar en proceso automatizado son de diferentes clases, para las distintas aplicaciones que se requiere en el proceso.

3.9.5.1 Sensor de nivel tipo flotador

El sensor que más se acopla a las necesidades se puede observar en la figura 55 y con las especificaciones técnicas descritas en la tabla 40.

Tabla 40
Sensor tipo flotador

Tipo	Interruptores de flotador horizontal
Tipo de dispositivo	Flotador
Tipo de montaje	Horizontal
Material del dispositivo	Acero inoxidable
Tipo de contacto	NA/NC
Tensión máxima de conmutación	300 V DC o 300 VAC
Temperatura máxima	120 °C
Corriente máxima en la conmutación	0,5 A



Figura 55. Sensor de nivel tipo flotador

Fuente: (Interruptor nivel líquidos, mont. Externo | RS Components, 2019)

El controlador de nivel que se va a usar se puede observar en la figura 56 y con las especificaciones técnicas de la tabla 41.

Tabla 41*Controlador de nivel*

Tipo	Relés modulares de medición y control
Tensión de alimentación	24 a 240 V AC/DC 50/60 Hz
Tensión máxima de conmutación	250 V AC/DC
Tipo de contactos de salida	2 NA
Corriente nominal de salida	5 A
Distancia del cable entre dispositivos	100 m
Temperatura ambiente de funcionamiento	-20 a 50 °C



Figura 56.Controlador de nivel

Fuente:(Schneider Electric, 2018)

3.9.5.2 Sensor capacitivo

El sensor que se va a usar se puede observar en la figura 57 y sus especificaciones técnicas se observan en la tabla 42.

Tabla 42
Sensor capacitivo

Tipo	Sensor capacitivo
Tensión de alimentación	12 a 24 V DC
Rango de detección	8 mm
Tipo de contacto de salida	PNP , NA
Índice de protección	IP 66
Temperatura de funcionamiento	-25 a 70 °C
Indicador led	Si
Temperatura ambiente de funcionamiento	-20 a 50 °C



Figura 57.Sensor
capacitivo
Fuente:(OMRON
Global, 2019)

3.9.5.3 Sensor fotoeléctrico

El tipo de sensor a utilizar se puede observar en la figura 58 y con las especificaciones técnicas de la tabla 43.

Tabla 43
Sensor fotoeléctrico

Tipo	Sensor fotoeléctrico
Tensión de alimentación	10 a 24 V DC
Tipo de detección	Haz pasante (emisor y receptor)
Distancia de detección	10 m
Tipo de salida	NPN
Conexión eléctrica	Cable de 3 hilos de 2 metros
Fuente de la luz	Led rojo
Índice de protección	IP 67
Temperatura ambiente de funcionamiento	-20 a 55 °C



Figura 58. Sensor fotoeléctrico
Fuente: (Sensor Fotoeléctrico Panasonic
| RS Components, 2019)

3.9.5.4 Sensor magnético

Los sensores magnéticos que se van a utilizar se puede observar en la en la figura 59 y con las especificaciones técnicas de la tabla 44.

Tabla 44
Sensor magnético

Tipo	Sensor magnético
Tipo de sensor	Interruptor tipo reed
Voltaje de operación	5-240 V DC/AC
Indicador	Led rojo
Funcionamiento	NA
Longitud del cable	1m
Índice de protección	IP 67
Temperatura ambiente de funcionamiento	-10 a 70 °C

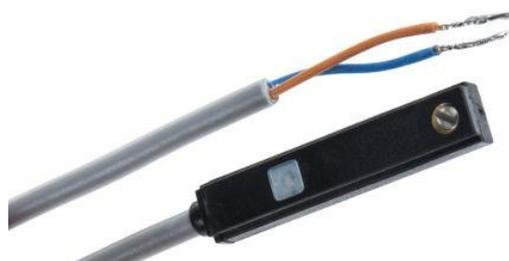


Figura 59. Sensor magnético
Fuente: (vCard, 2018)

3.9.6 Válvula de solenoide

Para la parte del llenado automático del tanque dosificador, se propone el uso de una válvula de solenoide la misma que se va abrir o cerrar dependiendo el nivel de líquido que exista en el tanque. Se debe usar una válvula que no altere la composición del líquido y sea de uso farmacéutico, por ese motivo se escogió una como se indica en la figura 60 y con las especificaciones técnicas de la tabla 45.

Tabla 45
Válvula de solenoide

Tipo	Válvula de solenoide
Tensión de alimentación	24 V DC
Funcionamiento	Piloto
Material	Acero inoxidable
Tipo de rosca	G
Temperatura de funcionamiento	-10 a 35 °C
Tiempo máximo de cierre y apertura	180 ms y 130 ms
Tipo de fluido	Todo tipo de líquido, aceite mineral, aire comprimido.



Figura 60. Válvula de solenoide
Fuente: (Válvula de solenoide Festo
| RS Components, 2019)

3.9.7 Electroválvulas neumáticas

Para el control de los actuadores como los pistones que se requieren dentro del sistema automatizado, se va a utilizar electroválvulas neumáticas que van hacer comandadas por el PLC. Las electroválvulas que se van a usar se pueden observar en la figura 61 y sus especificaciones técnicas en la tabla 46.

Tabla 46

Electroválvulas neumáticas 3/2

Tipo	Electroválvulas neumáticas
Función	3 vías 2 posiciones
Rosca del puerto de conexión	G 1/8
Tipo de actuación	Solenoide/resorte
Solenoide	Acoplado
Caudal máximo	570 L/min
Tensión de solenoide	24 V DC
Temperatura de funcionamiento	-5 a 50 °C



Figura 61.Electroválvula neumática

Fuente:(Válvula de solenoide Festo RS Components, 2019)

Para los actuadores que son de doble efecto como los giratorios y la pinzas neumáticas se requiere utilizar electroválvulas 5/2 como la que se puede observar en la figura 62, y con sus especificaciones técnicas que se pueden observar en la tabla 47.

Tabla 47
Electroválvulas neumáticas 5/2

Tipo	Electroválvulas neumáticas	
Función	5 vías	
	2 posiciones	
Rosca del puerto de conexión	G 1/8	
Tipo de actuación	Solenoide/resorte	
Solenoide	Acoplado	
Caudal máximo	660 L/min	
Tensión de solenoide	24 V DC	CONTINÚA

Temperatura de funcionamiento	-5 a 50 °C
--------------------------------------	------------



Figura 62.Electroválvulas neumáticas 5/2
Fuente:(Válvula de solenoide Festo | RS Components, 2019)

3.9.8 Electroválvula proporcional

Para el control del actuador lineal que va ayudar a posicionar las válvulas overflow dependiendo la presentación de la botella, se requiere de una electroválvula proporcional que permita regular el paso de aire y de esta manera mover el actuador la distancia necesaria para poder llenar las botellas. La electroválvula proporcional a utilizarse se observa en la figura 63 y sus especificaciones técnicas en la tabla 48.

Tabla 48
Electroválvula proporcional

Tipo	Electroválvula proporcional	
Configuración	Normalmente cerrado	
Rosca del puerto de conexión	G 1/8	
Fluido	Aire y gases inertes	
Grado de protección	IP40	
Solenoides	Acoplado	CONTINÚA

Caudal máximo	100 L/min
Tensión de solenoide	24 V DC
Máxima presión de funcionamiento	1 MPa



Figura 63. Válvula proporcional

Fuente:(Válvula de control proporcional SMC | RS Components, 2019)

3.9.9 Válvula de llenado de actuador neumático

Se va a utilizar nueva tecnología que se encargará con el llenado de las botellas, ya que las válvulas que usan a veces dan problemas, por este motivo se escogió la válvula que se puede observar en la figura 64 y con las especificaciones técnicas de la tabla 49.

Tabla 49

Válvula de llenado de actuador neumático

Tipo	Válvula de llenado de actuador neumático
Tipo	Simple efecto/ doble efecto
Material	Acero inoxidable
Materia de sellado	PTFE
Temperatura de líquido	-10 a 120 °C
Presión de control simple efecto	3.8 a 4.2 bar
Presión de control doble efecto	3 a 3.5 bar



Figura 64. Válvula de llenado de actuador neumático

Fuente: (Válvula de llenado neumática de maquinaria de llenado de bebidas | COVNA, 2019)

3.9.10 Actuadores neumáticos

Se utilizarán cilindros neumáticos que se encargarán de detener las botellas a lo largo de la banda transportadora, los mismos que serán de simple efecto como se observa en la figura 65 y con las siguientes especificaciones técnicas de la tabla 50.

Tabla 50
Cilindro neumático

Tipo	Cilindro neumático
Tipo	Simple efecto
Recorrido	50 mm
Presión máxima de funcionamiento	1 MPa
Temperatura de funcionamiento	-20 a 80 °C
Conexión del puerto	G 1/8
Longitud	161 mm



Figura 65. Cilindro neumático simple efecto

Fuente: (Cilindro neumático redondo SMC | RS Components, 2019)

Para poder rotar un brazo neumático y para girar una pinza neumática, que serán colocados en la parte de calidad se va a utilizar un actuador giratorio como se indica en la figura 66 y con las especificaciones técnicas de la tabla 51.

Tabla 51
Actuador giratorio

Tipo	Actuador giratorio
Ángulo giratorio	180 °
Diámetro	50 mm
Presión máxima de funcionamiento	1 MPa
Temperatura de funcionamiento	5 a 60 °C
Conexión del puerto	G 1/8



Figura 66. Actuator giratorio

Fuente: (Actuator giratorio SMC|
RS Components, 2019)

Para poder seleccionar las botellas que pasaron a la banda transportadora de calidad por no tener el nivel del líquido correcto, se necesita utilizar una pinza neumática como la que se observa en la figura 67 y con las especificaciones técnicas de la tabla 52.

Tabla 52

Pinza neumática

Tipo	Mordaza neumática
Diámetro de apertura	50mm
Temperatura	-10 a 60 °C
Presión máxima de funcionamiento	0,7 MPa
Repetitividad	$\pm 0,01mm$
Conexión del puerto	G 1/8



Figura 67. Mordaza neumática

Fuente: (Mordaza neumática SMC
| RS Components, 2019)

La pinza neumática anteriormente mencionada se le va a acoplar dedos de adaptación automática de la marca Festo como se puede observar en la figura 68, se utiliza esta tecnología ya que se requiere manipular con delicadeza las botellas debido a que algunas son de vidrio, sus especificaciones técnicas se las puede observar en la tabla 53.

Tabla 53

Dedos de adaptación automática

Tipo	Dedos de adaptación automática
Posición de montaje	Indistinto
Temperatura ambiente	10 a 50 °C
Tamaño	120
Material	Exento de cobre y PTFE
Peso	29 g

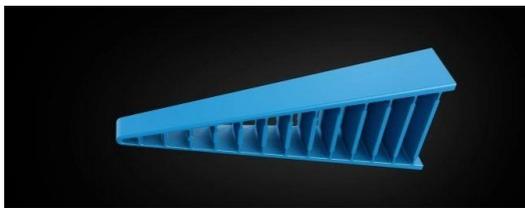


Figura 68. Dedos de adaptación automática

Fuente: (Dedos de adaptación automática Festo, 2019)

Ahora se requiere de dos actuadores lineales, los cuales van hacer acoplados a la estructura donde se encuentran ubicadas las válvulas que son las encargadas de llenar las botellas, por tal motivo se va a utilizar dos cilindros neumáticos como los de la figura 69 y con las especificaciones técnicas de la tabla 54.

Tabla 54

Cilindro neumático

Tipo	Cilindro neumático
Tipo de acción	Doble
Recorrido	500 mm
Conexión neumática	G 1/8
Temperatura de funcionamiento	-20 a 80 °C
Presión máxima de funcionamiento	12 bar



Figura 69. Cilindro neumático

Fuente: (Cilindro neumático Festo , Acción Doble | RS Components, 2019)

3.9.11 Conmutador de Ethernet industrial

En la repotenciación del proceso de llenado y tapado se requiere que algunos equipos compartan información entre los cuales se tiene: el PLC encargado del control del sistema, un ordenador el cual va a tener el HMI en donde se podrá monitorear y supervisar el proceso, y por último otro ordenador que se encuentra en el área de calidad en donde recibirá información relevante del proceso. Por este motivo es necesario un switch Ethernet para que todos los equipos anteriormente mencionados permanezcan en red y compartan información sin ningún problema, no va a existir ningún problema ya que todos los equipos manejan el protocolo Ethernet, se escoge un conmutador robusto y fiable como se observa en la figura 70 para que toda la información llegue a su destino sin ningún problema y no exista una pérdida de comunicación entre los equipos, sus especificaciones técnicas se las puede observar en la tabla 55.

Tabla 55
Conmutador Ethernet industrial

Tipo	Conmutador Ethernet industrial
Tensión de alimentación	24 V DC
Velocidad de transmisión	10 a 100 Mbits/s
Número de puertos RJ 45	8
Temperatura de funcionamiento	-40 a 60 °C
Índice de protección	IP 30

3.10 Requerimientos de software

Para llevar a cabo la repotenciación del proceso se necesita de algunas herramientas de software que van a ser descritas a continuación.



Figura 70. Conmutador Ethernet industrial

Fuente: (Industry Support Siemens, 2019)

3.10.1 SIMATIC STEP 7 TIA Portal V13

Es un software que se utiliza mucho en la rama de la automatización de procesos, ya que permite realizar la programación de los diferentes controladores de la familia Siemens, además permite configurar interfaces de comunicación, así como también touch panels que son muy utilizados dentro de la industria. Es un software que tiene una interfaz con el usuario muy intuitivo, amigable y fácil de usar. Para poder utilizar este software es recomendable que se utilice un ordenador que cumpla con las características de la tabla 56.

Tabla 56

Requerimientos de hardware y software

Requerimientos de hardware (mínimos)	Procesador Intel Core i5 3,3 GHz o superior RAM 8 GB o más Disco Duro: 300 GB SSD
Requerimientos de software (mínimos)	Sistemas operativos Windows 7 (64 bits): Windows 7 Professional SP1

CONTINÚA

Windows 7 Enterprise SP1

Windows 7 Ultimate SP1

Sistemas operativos Windows 8.1 (64 bits):

Windows 8.1

Windows 8.1 Professional

Windows 8.1 Enterprise

3.10.2 Wonderware Intouch

Con este software se va realizar el diseño de la HMI, es una herramienta de ingeniería que permite realizar los diseños de una manera fácil y versátil, además permite una interacción muy sencilla entre el usuario y los procesos industriales gracias a que dispone de librerías con un gran número de gráficos con los cuales es posible representar un proceso industrial.

Sus características principales son:

- Posee una biblioteca con una amplia gama de gráficos y símbolos para poder representar procesos industriales.
- El usuario al implementar un HMI en intouch, puede mejorar de manera significativa la efectividad de un proceso y tomar decisiones de manera rápida ante situaciones que ocurren en tiempo real.
- La interacción entre hombre y maquina es mucho más fácil y sencilla.
- Se puede monitorear, controlar y supervisar un proceso industrial ya sea de manera local o remota desde cualquier lugar y a cualquier hora.

- La interfaz se puede comunicar con varias marcas de PLC.
- Tiene un medio que permite la comunicación con un servidor OPC.

Algunas especificaciones técnicas de Wonderware Intouch se las puede observar en la tabla 56.

Tabla 57

Especificaciones técnicas

Sistema operativo del cliente	Microsoft Windows 7 (32/64 bit): SP1 Professional,Enterprise, Ultimate Microsoft Windows 8, 8.1 y 10 Professional y Enterprise (32/64 bit). Windows 10 Embedded, Standard, Enterprise.
Soporte de lenguaje	Las interfaces humano máquina pueden ser elaboradas en varios idiomas como: inglés, francés, alemán, español, japonés y chino. Mientras se ejecuta la aplicación se puede cambiar a otro idioma.

3.10.3 KEPServerEX 6

Es una herramienta que permite compartir información dentro de un proceso industrial, ya que se trata de un servidor OPC cuya principal aplicación es la de mantener conectados controladores

y otros dispositivos que requieran compartir información. Dentro de la automatización industrial algunas de sus principales características son:

- Permitir la comunicación entre diferentes controladores de automatización que tienen diferentes protocolos de comunicación.
- Vincular la información de los procesos productivos con el área de la gestión administrativa.
- Crear una base de datos de todos los tags relacionados dentro del proceso industrial.
- Permite que la automatización industrial se integre al internet de las cosas, algo que está siendo muy usado en la actualidad.

Los requerimientos necesarios para poder utilizar kepservex 6 son:

- Tener un procesador de 2GHz.
- Memoria RAM de 1GB
- Tener espacio en la memoria de 180 MB
- Que disponga de una tarjeta Ethernet

3.10.4 Microsoft Excel

Es una de las tantas herramientas que posee Microsoft office, es muy utilizado en el área administrativo y contable, pero también posee algunas herramientas que permiten programar y son de gran ayuda para el ámbito de la ingeniería, como en este caso se va a programar una de sus hojas de datos para que reciba información relevante del proceso productivo y sirva de gran ayuda para para el área de calidad.

Los requerimientos para poder instalar Excel son:

- Computador con un procesador de 500 Mhz o superior.

- Memoria RAM de 256 MB o superior.
- Tener 3.5 GB de espacio libre en el disco duro.
- Compatible con cualquier sistema operativo de 32 o 64 bits.

CAPITULO IV

DESARROLLO DE SOFTWARE

4.1 Lógica de control

En esta sección se va a describir la lógica que se aplicará en la repotenciación del sistema para que todos los componentes funcionen de manera correcta y conjunta. Se expone la lógica de control donde se presenta la secuencia, las condiciones y variables que debe tener el programa para el correcto funcionamiento del proceso productivo.

La lógica de control se va a realizar utilizando Grafquets, ya que son muy usados dentro de la automatización de procesos industriales y son de conocimiento general en el ámbito de la ingeniería electrónica. Para automatizar el proceso se va a usar un Grafquet maestro en donde se encuentran los estados, condiciones y acciones que debe ejecutar el programa para que el proceso funcione de manera normal y correcta, también se va a utilizar Grafquet esclavos en donde se van ejecutar acciones cuando el proceso entre en paro de emergencia, pausa o alguna de las alarmas que tiene el proceso.

4.1.1 Grafquet del funcionamiento del proceso

En la figura 71 se observa el grafquet principal del proceso, el mismo que se encarga del control de todos los componentes eléctricos y electrónicos del sistema, con la información que proporciona el grafquet se puede realizar la programación del PLC de una manera práctica y muy sencilla.

El funcionamiento del Grafquet se lo puede explicar en 4 partes:

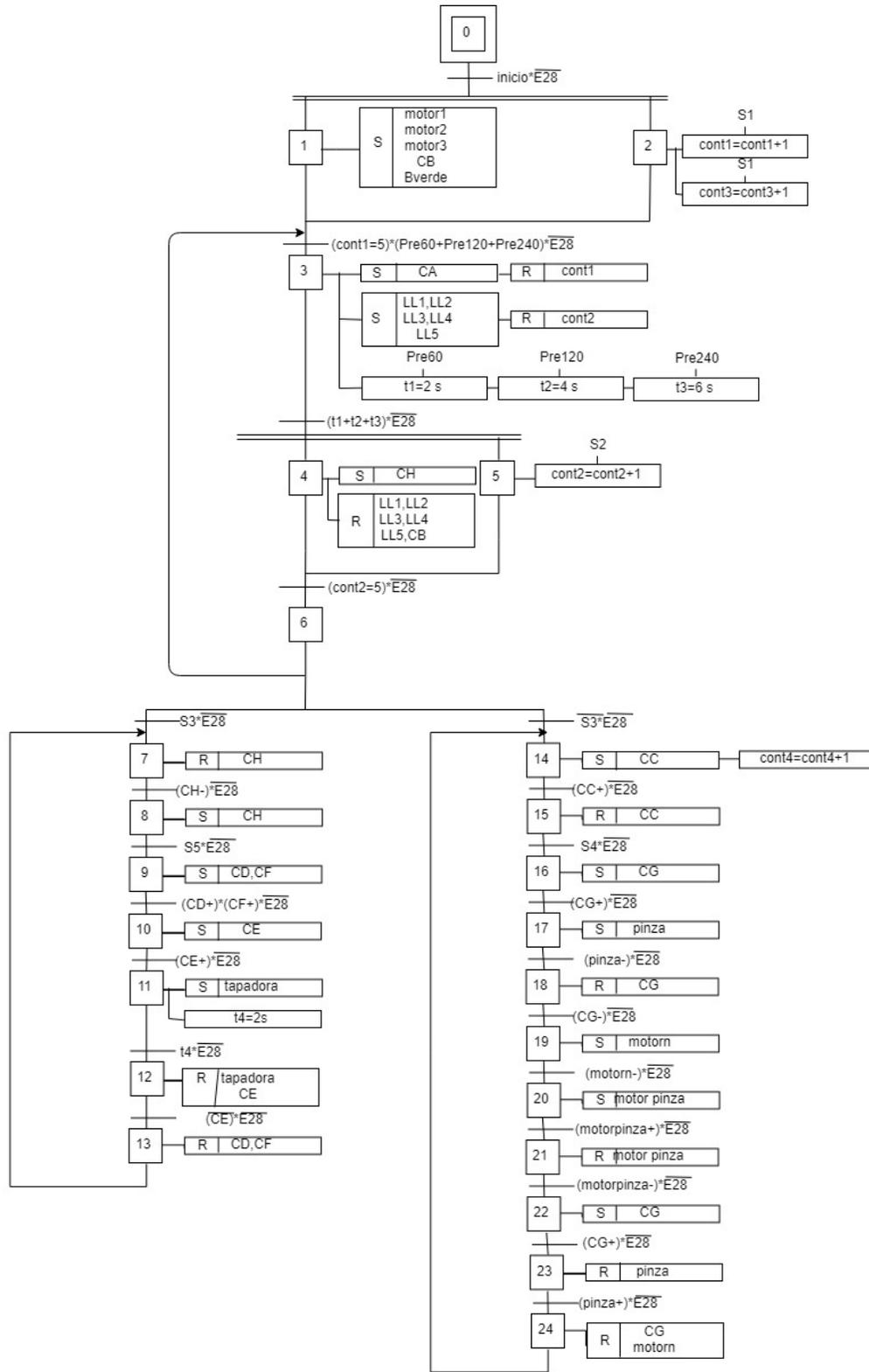


Figura 71. Grafcet principal G1

- En la parte inicial que lo conforman los estados 0, 1 se da el inicio al proceso, donde se pone en marcha los motores y se enciende la baliza verde indicando que el proceso se encuentra activo, al mismo tiempo se activa un estado 2 donde se cuentan las botellas que van a ingresar a la zona de llenado y el número total de botellas que se han ingresado al proceso.
- En los estados del 3 al 6 se lleva a cabo el proceso de llenado, en donde se pueden escoger entre las tres diferentes presentaciones de botellas que son de 60 ml, 120 ml y 240 ml.
- En los estados del 7 al 13 se ejecutan las acciones que permiten el tapado de las botellas.
- En los estados del 14 al 24 se realiza las acciones que permiten activar un brazo neumático, el mismo que se encarga de vaciar las botellas y separar las botellas vacías en un pallet.

En la tabla 58 se describe las variables involucradas en el Grafcet principal del proceso.

Tabla 58

Descripción de variables Grafcet principal

Variable	Descripción
Inicio	Pulsador verde que pone en funcionamiento al proceso.
E28	Estado del grafcet esclavo para poner pausa.
Motor1	Motor de la mesa pulmón giratoria.
Motor 2	Motor de la banda transportadora principal.
Motor 3	Motor de la banda transportadora de calidad.
CB	Cilindro neumático B.
bverde	Baliza de color verde.
Cont1,	
cont2	Contador de 5 botellas.
Cont3	Contador de botellas totales que ingresaron al proceso.

CONTINÚA

Pre60	Marca para seleccionar presentación de 60 ml desde HMI.
Pre120	Marca para seleccionar presentación de 120 ml desde HMI.
Pre240	Marca para seleccionar presentación de 240 ml desde HMI.
CA	Cilindro neumático A.
LL1, LL2, LL3, LL4, LL5	Válvulas encargadas de llenar las botellas.
T1, t2, t3	Tiempos para desactivar las válvulas over flow.
CH	Cilindro neumático H.
S3	Sensor para verificar el nivel de líquido en las botellas.
CH-	Sensor magnético detecta al cilindro CH comprimido.
S5	Sensor que detecta botella en la zona de tapado.
CD	Cilindro neumático D.
CF	Cilindro neumático F.
CD+	Sensor magnético detecta al cilindro CD expandido.
CF+	Sensor magnético detecta al cilindro CF expandido.
CE	Cilindro neumático E.
CE+	Sensor magnético detecta al cilindro CE expandido.
Tapadora	Motor que tapa las botellas.
T4	Tiempo que se demora en tapar.
CE-	Sensor magnético detecta al cilindro CE comprimido.

4.1.2 Graficets esclavos

Se utiliza Graficets esclavos para tener una mejor estructura de programación, en donde se puede separar la lógica del proceso principal de la lógica de seguridad o alarmas involucradas dentro del sistema.

4.1.2.1 Graficet de emergencia

En la figura 72 se puede observar el Graficet de seguridad referente al paro de emergencia, cuyas acciones son la de inhabilitar todos los estados y salidas del Graficet principal G1 y encender la baliza de color rojo para informar a los operados que ha ocurrido un paro de emergencia en el proceso, para deshabilitar el paro de emergencia es necesario presionar el pulsador de inicio.

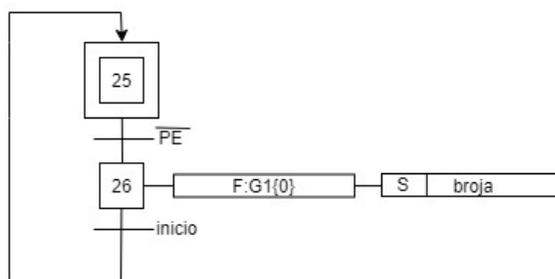


Figura 72. Graficet de emergencia G2

En la tabla 59 se describe las variables involucradas en el Grafcet de emergencia.

Tabla 59

Descripción de variables Grafcet de emergencia

Variable	Descripción
PE	Interruptor rojo de emergencia.
F:G1{0}	Inhabilitar las acciones y estados del Grafcet principal.
broja	Baliza de color rojo.
Inicio	Pulsador verde que pone en funcionamiento al proceso.

4.1.2.2 Grafcet de pausa

En el Grafcet que se observa en la figura 73 permite la activación del estado 28 que permite poner las acciones del Grafcet principal G1 en suspensión, también se enciende una baliza naranja para informar de manera visual al operador que el proceso se encuentra en pausa.

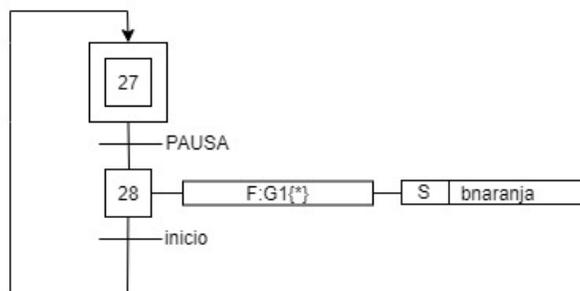


Figura 73.Grafcet de pausa G3

En la tabla 60 se describe las variables involucradas en el Grafcet de pausa.

Tabla 60

Descripción de variables Grafcet de pausa.

Variable	Descripción
Pausa	Pulsador azul que pone en pausa al proceso.
F:G1{*}	Poner en suspensión las acciones y estados del Grafcet principal.
bnaranja	Baliza de color naranja.
Inicio	Pulsador verde que pone en funcionamiento al proceso.

4.1.2.3 Grafcet de la alarma 1

La alarma 1 consiste en informar al operador de que no están ingresando botellas a la zona de llenado, para que posteriormente revise cual es la causa de dicho evento, el grafcet de la alarma 1 se la puede observar en la figura 74.

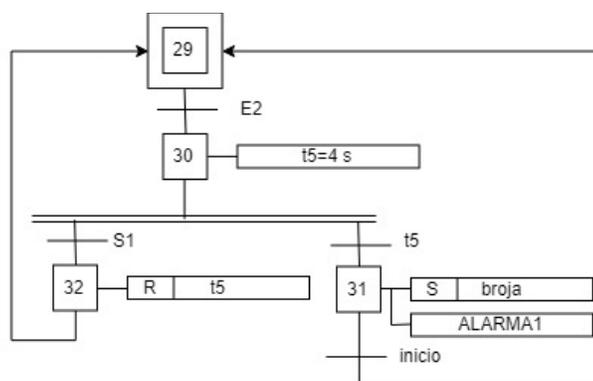


Figura 74. Grafcet Alarma 1

En la tabla 61 se describe las variables involucradas en el Grafcet de la alarma 1.

Tabla 61

Descripción de variables Grafcet de la Alarma 1.

Variable	Descripción
E2	Estado 2 del grafcet principal.
S1	Sensor inicio de llenado de botellas.
T5	Tiempo para la activación de la alarma.
ALARMA1	Marca para representar la alarma 1 en el HMI.
broja	Baliza de color roja.
Inicio	Pulsador verde que pone en funcionamiento al proceso.

4.1.2.4 Grafcet de la alarma 2

La alarma 2 consiste en informar al operador que durante el proceso se produjeron 10 botellas con el nivel incorrecto de líquido dentro de las botellas, con la finalidad de que se revise cual puede ser la causa del problema, la alarma solo se la va a visualizar en la pantalla del HMI. En la figura 75 se puede observar el Grafcet de la alarma 2.

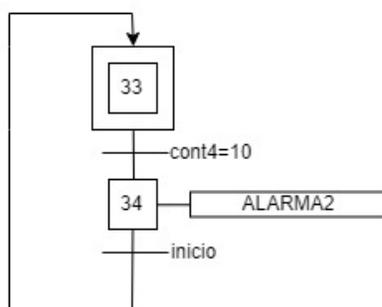


Figura 75. Grafcet Alarma 2

En la tabla 62 se describe las variables involucradas en el Grafcet de la alarma 2.

Tabla 62

Descripción de variables Grafcet de la Alarma 2.

Variable	Descripción
Cont4	Contador de botellas con nivel incorrecto de líquido.
ALARMA2	Marca para representar la alarma 2 en el HMI.
Inicio	Pulsador verde que pone en funcionamiento al proceso.

4.1.2.5 Grafcet de la alarma 3

La alarma 3 consiste en que si el sensor que se encuentra después del tapado se queda activado durante un tiempo, significa que en el final de la banda transportadora no se están despachando las botellas llenas y tapadas. Para informar de la alarma se va a activar la baliza roja y posteriormente se le va a informar en el HMI. El Grafcet que realiza las acciones de la alarma 1 se puede observar en la figura 76.

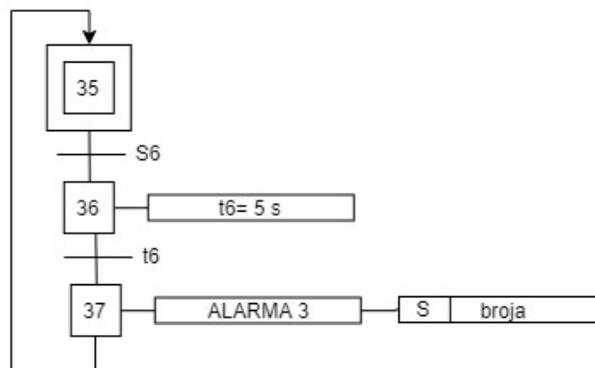


Figura 76. Grafcet Alarma 3

En la tabla 63 se describe las variables involucradas en el Grafcet de la alarma 3.

Tabla 63

Descripción de variables Grafcet de la Alarma 3.

Variable	Descripción
T6	Tiempo para la activación de la alarma.
ALARMA3	Marca para representar la alarma 3 en el HMI.
S6	Sensor que detecta que la banda transportadora está llena de botellas.
broja	Baliza de color rojo.

4.1.2.6 Grafcet de velocidad

La velocidad de las bandas transportadoras van a ser controladas por medio del HMI, en donde se va a poder escoger velocidad baja, media o rápida, dependiendo de lo que el operador configure. El Grafcet que permite la configuración de las velocidades se lo observa en la figura 77.

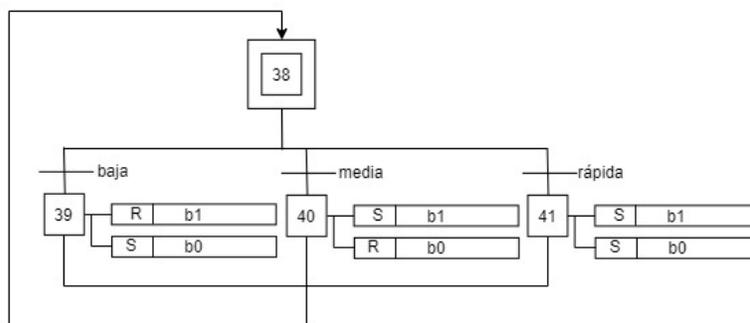


Figura 77. Grafcet de velocidad

En la tabla 64 se va a describir las variables involucradas en el Grafcet de velocidad.

Tabla 64*Descripción de variables Graficet de velocidad.*

Variable	Descripción
baja	Marca para seleccionar la velocidad baja desde el HMI.
media	Marca para seleccionar la velocidad media desde el HMI.
rápida	Marca para seleccionar la velocidad rápida desde el HMI.
b0	Bit menos significativo.
b1	Bit más significativo.

4.2 HMI

Para el diseño de la interfaz hombre máquina se va a considerar los requerimientos del sistema y las sugerencias de diseño que se propone en la norma ISA 101.

4.2.1 Arquitectura de pantallas

En la figura 78 se puede observar como es la arquitectura de las pantallas del HMI, donde se observa que en el nivel 1 se da acceso al sistema, en el nivel 2 se puede realizar configurar y controlar el proceso, y en el nivel 3 se advierte de eventos que ocurran durante el funcionamiento del proceso. La arquitectura es conformada por las siguientes pantallas:

- **Acceso:** En esta pantalla se visualiza el logotipo del laboratorio farmacéutico, se puede iniciar o cerrar sesión para dar acceso a los usuario que estén a cargo del proceso junto, se puede observar que usuario ingreso al sistema junto con si nivel de acceso, se presentan indicadores que permiten visualizar el estado del proceso y también se muestra la hora y fecha.

- Menú: En esta pantalla se presentan botones los que van a permitir navegar entre las pantallas que conformar la HMI, se presentan indicadores que permiten visualizar el estado del proceso, se indica la fecha y la hora.
- Configuración: En esta pantalla se puede configurar parámetros del proceso como la velocidad de las bandas transportadoras y cuál va a ser la presentación de botellas que se van a llenar, ya sean de 60 ml, 120ml y 240 ml.
- Control: En esta pantalla se puede dar inicio, pausar o parar el proceso, se puede visualizar información importante del proceso, observar el estado en el que se encuentren algunos de los actuadores y sensores inmersos dentro del proceso, indicadores para saber que alarma se activó y también indicadores para ver cuál es el estado del proceso.
- Alarmas: Se presenta información más detallada de las alarmas que se han producido dentro del proceso.
- Real time: Se puede observar mediante curvas y en tiempo real el estado de alguno de los actuadores.

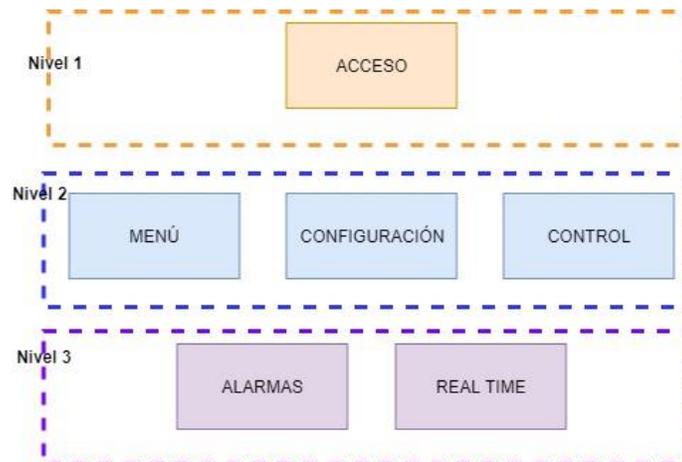


Figura 78.Arquitectura de pantallas

4.2.2 Navegación de pantallas

Para que la navegación entre las pantallas sea fácil de utilizar en cada pantalla se colocó un botón que permite ir a la pantalla de menú, y desde esta se pueda navegar hacia cualquier pantalla del HMI como se observa en la figura 79.

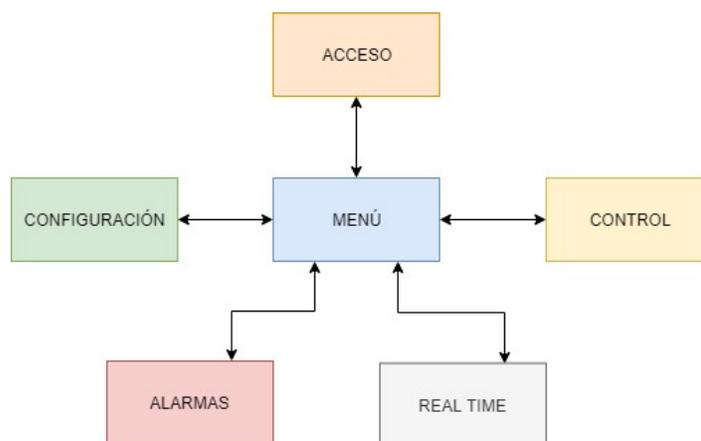


Figura 79. Navegación de pantallas.

4.2.3 Distribución de pantallas

Para la distribución de las pantallas del HMI, se tomó en cuenta las dimensiones que deben tener las pantallas y la información que se presentará en las mismas como fecha y hora, el título de cada pantalla, navegación, la visualización del proceso y las alarmas.

- La distribución de la pantalla de acceso se observa en la figura 80.



Figura 80. Plantilla acceso

- La distribución de la pantalla de menú se observa en la figura 81.



Figura 81. Plantilla menú

- La distribución de la pantalla de configuración se observa en la figura 82.



Figura 82. Plantilla configuración

- La distribución de la pantalla de control se observa en la figura 83.



Figura 83. Plantilla control

- La distribución de la pantalla de alarmas se observa en la figura 84.



Figura 84.Plantilla alarmas

- La distribución de la pantalla de Real time se observa en la figura 85.



Figura 85.Plantilla real time

4.2.4 Niveles de acceso

El personal que va a manipular la interfaz son operadores y el jefe de producción, por tal motivo se requiere establecer niveles de acceso, para que no ocurra una manipulación incorrecta de la HMI.

- El jefe de producción tiene acceso a todas las pantallas.
- El operador solo tiene acceso a la pantalla de acceso, menú y control.

4.2.5 Formato del texto

El formato del texto que se utiliza debe ser claro, visible y entendible, por tal motivo tiene las siguientes características:

- La fuente es Tahoma.
- El estilo de fuente normal
- Tamaño 10.

4.2.6 Uso de color

Los colores que se utilizaron para el diseño del HMI, se los escogió tomando en cuenta que no provoquen fatiga visual al operador y que contrasten. En la tabla 65 se observa los colores que se utilizaron para el diseño de las pantallas y los componentes de las mismas.

Tabla 65
Colores de los componentes de la HMI

Ítem	Color	Descripción	RGB
Estado de las luces		Apagado	0,0,0
		Encendido	0,255,0

CONTINÚA

Botones de navegación		Habilitado o Inhabilitado	192,192,192
Fondos de pantalla		Espacio de trabajo	128,128,128
Botellas		Llena	0,255,255
		vacía	0,0,0
Sensores		Apagado	0,0,0
		Encendido	0,255,0
Brazo neumático		Apagado	255,153,0
		Encendido	0,255,0
Motores		Apagado	255,153,0
		Encendido	0,255,0
Cuadros de texto		Espacio de trabajo	150,150,150
Botones de control		Desactivado	0,0,0
		Activado	0,255,0

En la tabla 66 se observa el color que tienen las líneas de las tendencias del real trend.

Tabla 66
Colores de las tendencias

Ítem	Color	RGB
Tapadora		0,255,0
Brazo neumático		255,0,0
Cilindro A		255,255,0
Cilindro C		0,0,0

4.2.7 Alarmas

Se deben especificar las alarmas que se puede producir durante el proceso productivo, para poder alertar al operador por medio del HMI. Las alarmas son:

- La alarma 1 consiste en informar al operador de que no están ingresando botellas a la zona de llenado, para que posteriormente revise cual es la causa de dicho evento,
- La alarma 2 consiste en informar al operador que durante el proceso se produjeron 10 botellas con el nivel incorrecto de líquido dentro de las botellas, con la finalidad de que se revise cual puede ser la causa del problema.
- La alarma 3 consiste en que si el sensor que se encuentra después del tapado se queda activado durante un tiempo, significa que en el final de la banda transportadora no se están despachando las botellas llenas y tapadas. Para informar de la alarma se va activar la baliza roja y posteriormente se le va a informar en el HMI.

CAPITULO V

SIMULACIÓN DEL SISTEMA

5.1 Desarrollo de la simulación

Para comenzar con la simulación del sistema se debe disponer de algunas de herramientas de software las mismas que están descritas en la tabla 67 y se especifica cuál es su función en la simulación del proceso productivo. Los softwares que se escogieron para llevar a cabo la simulación se lo hizo tomando en cuenta lo siguiente:

- Intuitivo para el usuario.
- Facilidad de instalación en el ordenador.
- Compartir información entre todos los softwares que se van a usar.

La simulación del proceso productivo le permite observar al personal encargado de producción de cómo va a funcionar el proceso una vez que se realice la automatización, es algo tan importante ya que dependiendo del comportamiento de la simulación se tomará la decisión de realizar la implementación del sistema .

Tabla 67
Descripción de Software

Software	Descripción
TIA PORTAL	Es el encargado de ejecutar la lógica de control, es decir realiza todas las acciones para el funcionamiento del proceso. CONTINÚA

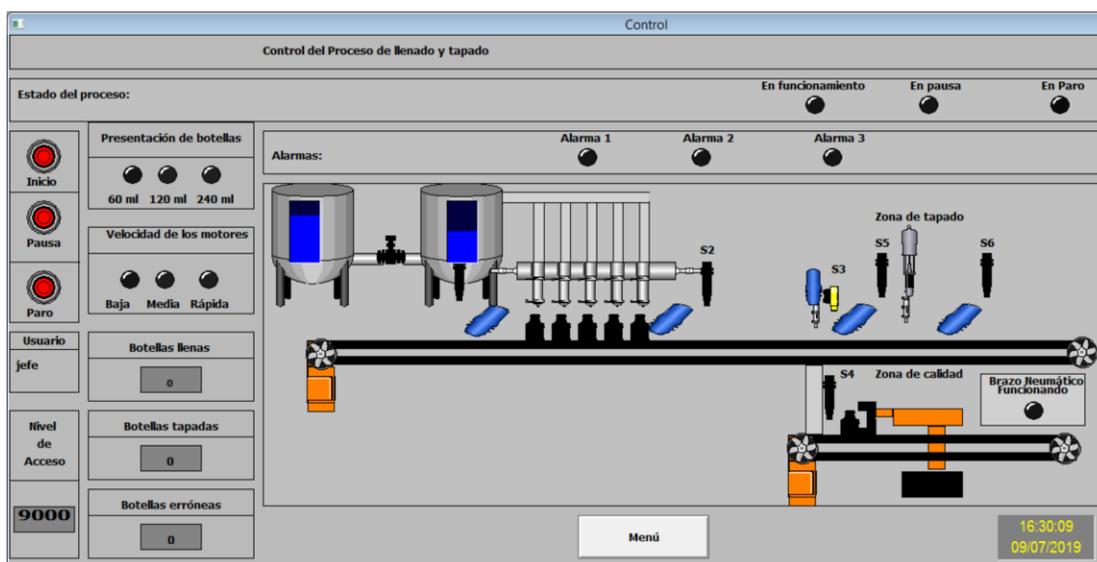
Kepserver	Permite el intercambio de información entre TIA PORTAL, Intouch y Excel.
Nettoplcsim-S7	Permite el intercambio de información entre TIA PORTAL y Kepserver, para que se compartan los tags adecuadamente.
S7-PLCSIM	Permite simular entradas y salidas físicas de un PLC, como si se tuviera de manera física el dispositivo.
Excel	Tiene un interfaz en la cual se puede observar datos importantes del proceso.
Intouch	Permite representar de manera gráfica el proceso productivo y observar cómo funciona la lógica de control.

5.2 Simulación del programa para el control del sistema

Para verificar cómo se comporta la lógica de control lo primero que se tiene que realizar es convertir los Graficets de la lógica de control en lenguaje de programación ladder, este procedimiento se lo realiza en el software de TIA PORTAL, posteriormente se carga el programa al PLC virtual que proporciona S7-PLCSIM, y después se pone en conexión los softwares que van a permitir que el intercambio de información sea bidireccional como lo es KepServer y Nettoplcsim-S7, una vez activos estos dos programa ya se puede compartir información para visualizar el funcionamiento del proceso en Intouch y observar datos en Excel.

Para explicar el funcionamiento del proceso se lo dividió en tres etapas: la primera llenado, segunda tapado y la tercera calidad. En el Anexo N se observa el programa.

Cuando no se dé inicio al proceso ya sea de manera local o remota, en la pantalla de control se observa al proceso como se indica en la figura 86. Todos los indicadores apagados, la banda sin funcionar y ningún tipo de animación, lo único que se podrá observar es el usuario que ha iniciado sesión y el nivel de acceso que tiene.



*Figura 86.*Proceso sin funcionar

Para poner en marcha el proceso se debe escoger un tipo de presentación de botellas que se requiera llenar y también la velocidad del motor de la pantalla de configuración como se observa en la figura 87, ya que si no se lo hace el proceso no va a dar inicio.

Cuando se hayan configurado los parámetros necesarios para dar inicio al proceso, como siguiente paso es presionar el pulsador de inicio que se encuentra en la pantalla de control y se va a poder observar el proceso en funcionamiento; las animaciones que se pueden observar representando esta parte del proceso son:

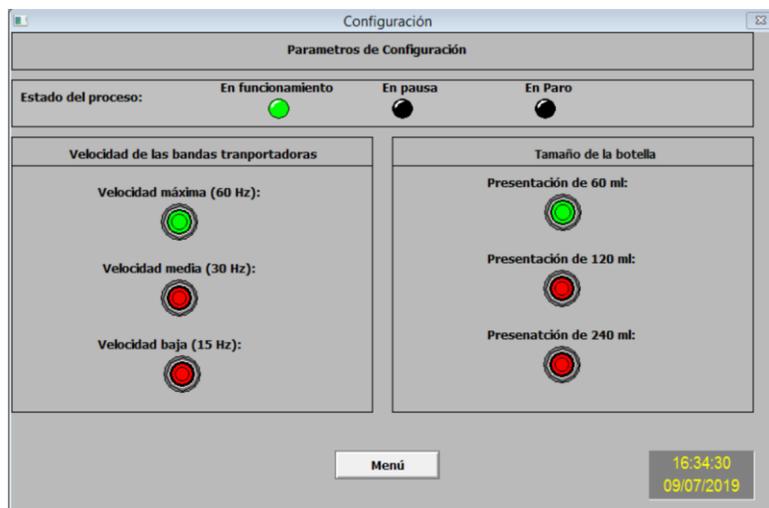
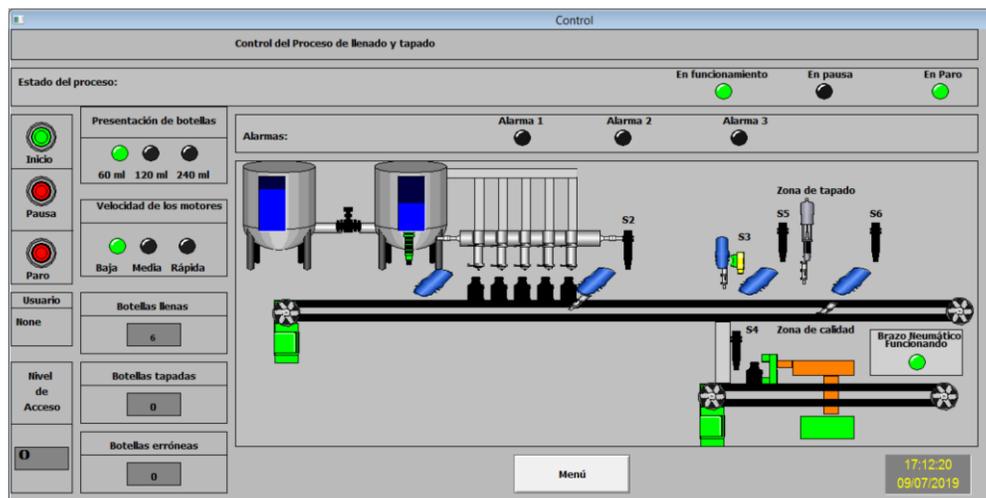


Figura 87. Configuración de parámetros del sistema

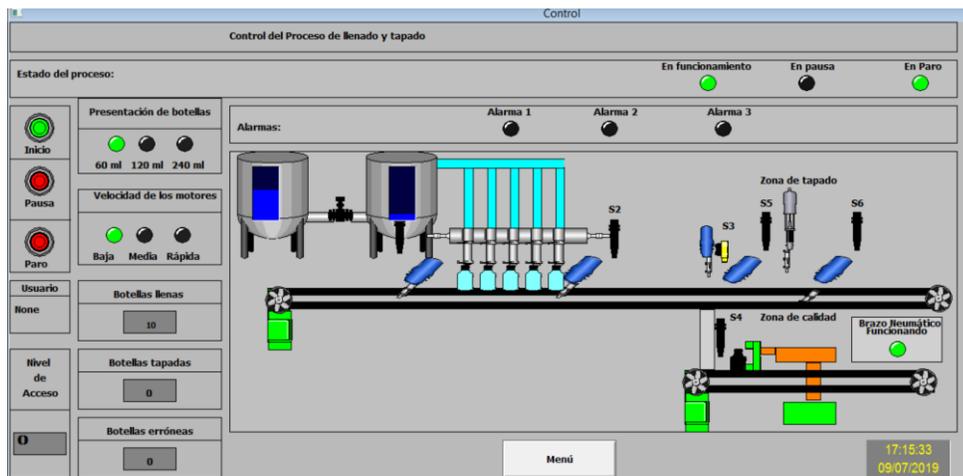
- El ingreso de botellas vacías al área de llenado.
- Activación del cilindro B.
- Activación del sensor S1.
- Activación de los motores de la banda principal y la de calidad.
- Indicador de que el proceso se encuentra en funcionamiento.

Todo lo que se mencionó anteriormente se puede observar en la figura 88.



*Figura 88.*Inicio llenado

Por consiguiente cuando el sensor S1 haya detectado cinco botellas, se procede a activar el cilindro B y se activarán las válvulas over flow donde se podrá observar cómo se llenan las botellas, esta parte del proceso se observa en la figura 89.



*Figura 89.*Llenado de botellas

Una vez que se hayan llenado las botellas pasan por el sensor S2, que en el momento que cuente 5 botellas, se va a poder repetir el proceso de llenado, mientras que las botellas que fueron llenadas pasan a una parte donde se encuentra el sensor de calidad S3, como se observa en la figura 90.

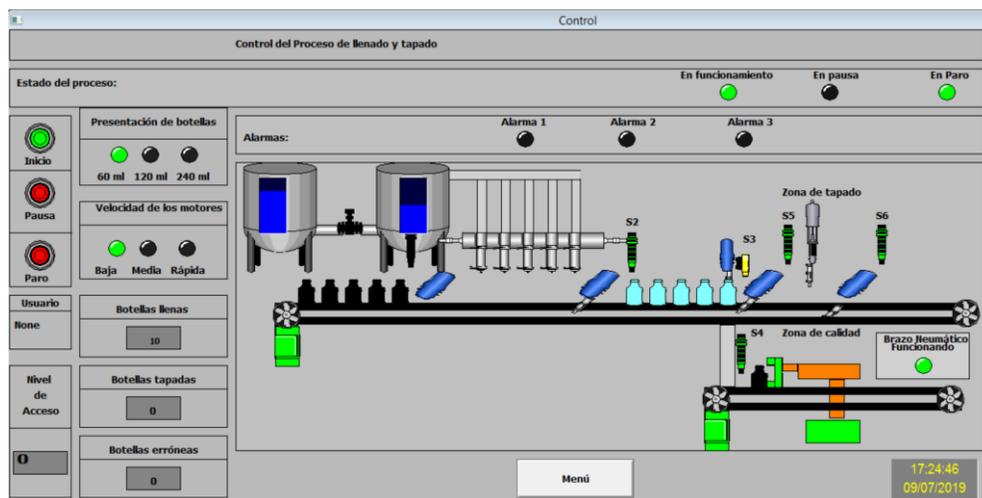


Figura 90. Fin de llenado de botellas

Después se activa el cilindro H para que no permita el paso de todas las botellas hacia la zona de tapado, en esta parte si se activa el sensor S3 las botellas pasarán a la zona de tapado donde un sensor va a detectar la presencia de una botella y posteriormente se activará un cilindro que detiene la botella y otro cilindro baja para ejecutar el tapado como se observa en la figura 91.

Cuando ya se haya completado con el tapado de la botella el cilindro que la detiene le va a dejar pasar en donde se irá a la final de la banda transportadora como se observa en la figura 92, pasando por el sensor S6 el cual va a contar cuantas botellas se han tapado y también sirve para informar que hay muchas botellas y no se están despachando.

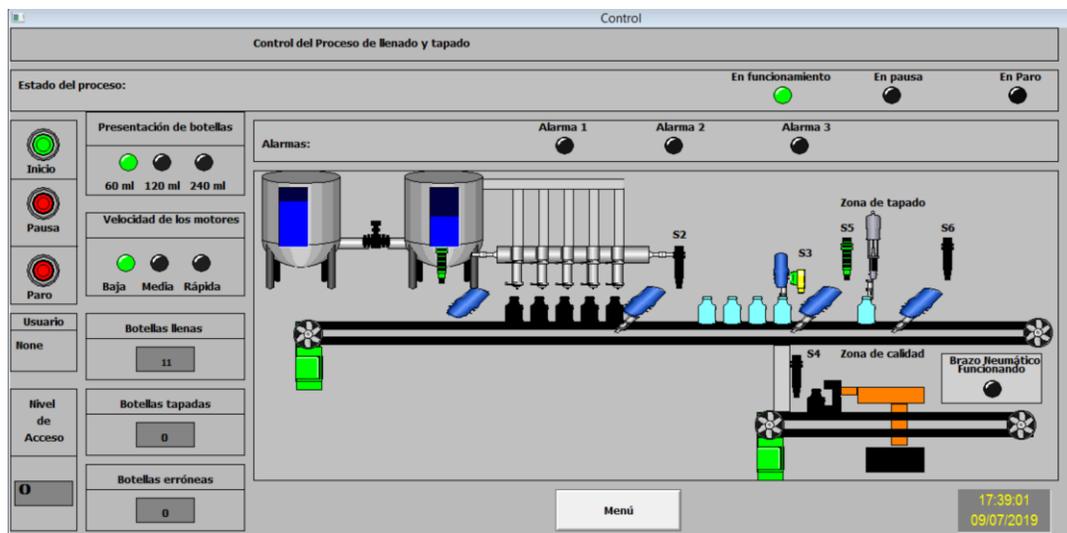


Figura 91. Tapado de botellas

El otro caso cuando el sensor de calidad no se activa quiere decir que el nivel de líquido dentro de la botellas es el incorrecto, por tal motivo se acciona un cilindro que le va a empujar hacia otra banda transportadora en donde se realizará el vaciado de la misma mediante un brazo neumático que va a vaciar el contenido en un balde y pondrá la botella en un pallet que el operador irá acomodando manualmente. En la figura 93 se observa de qué manera se la va a informar al operador de que el brazo neumático y todos sus componentes se encuentran en funcionamiento, y la representación de una botella vacía, para que se entere de que el vaciado se lo llevo a cabo sin ningún problema.

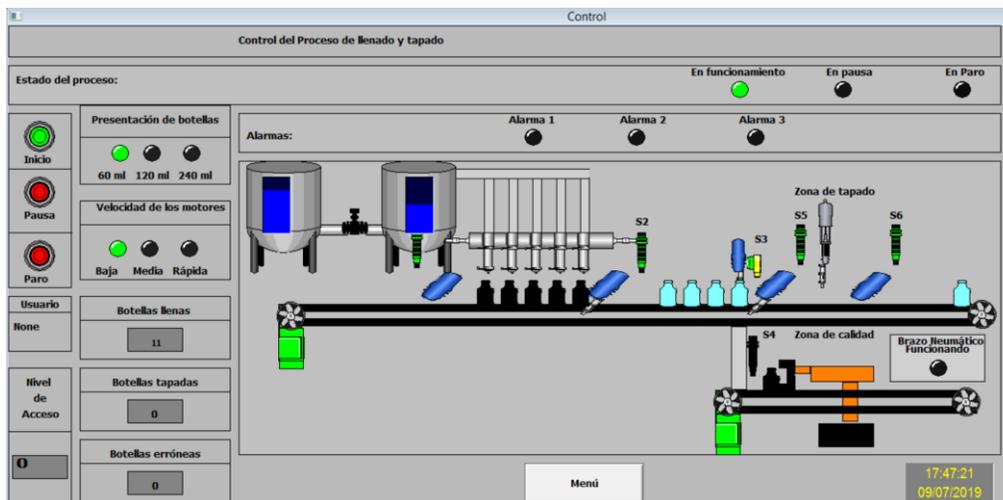


Figura 92. Fin de tapado de botellas

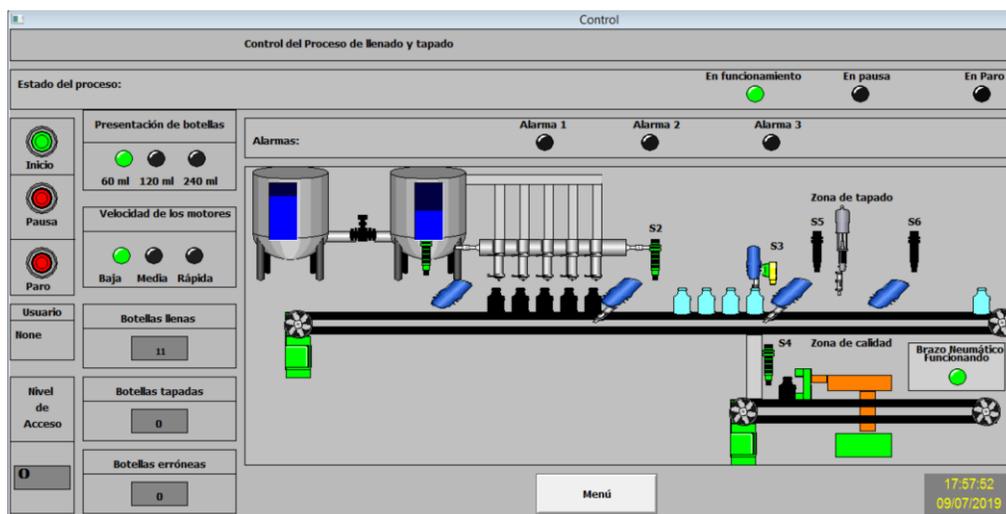


Figura 93. Zona de calidad

También se puede observar como al tanque en el que se tiene que controlar el nivel de líquido, se llena por medio de la activación de una válvula de solenoide como se observa en la figura 94. Este punto es muy importante que el operador pueda observar porque el tanque nunca puede quedarse sin líquido o lo contrario llenarse demasiado, ya que si se llena demasiado se regaría por todo el piso y podría causar algún accidente dentro de la zona del proceso, y si se vacía las válvulas over flow podrían dañarse ya que no están con ningún líquido dentro de ellas.

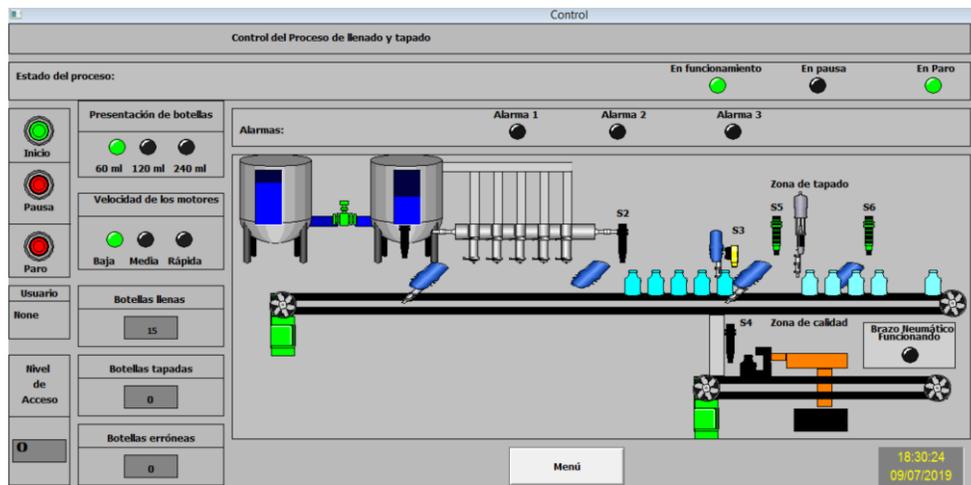


Figura 94. Llenado de tanque

Cuando se presiona el pulsador de paro, todas las acciones que esté ejecutando el PLC se van a cancelar y como se podrá observar en el HMI, ningún objeto estará animado debido a un paro de emergencia, lo único que se podrá visualizar en la interfaz hombre máquina es una luz de color rojo indicando un paro de emergencia como se observa en la figura 95.

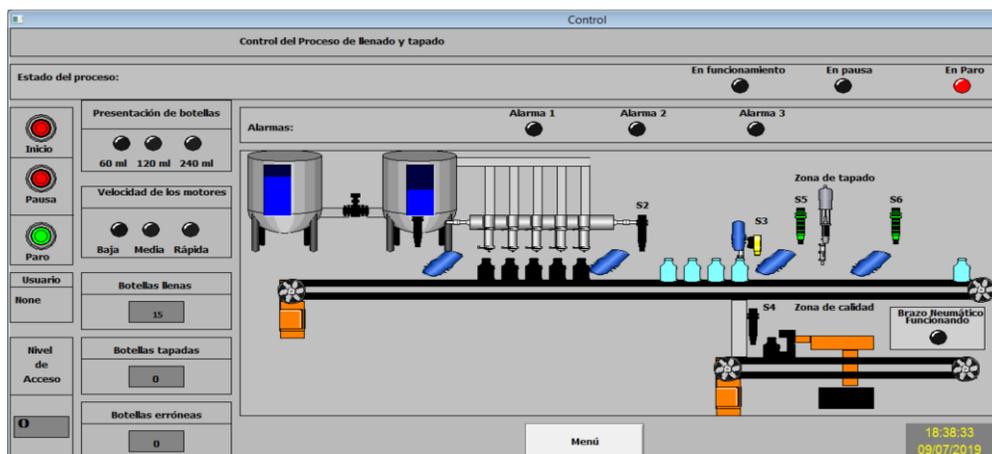


Figura 95. Paro de emergencia

5.3 Simulación de HMI

5.3.1 Acceso

En la pantalla de acceso se puede observar el logotipo del laboratorio farmacéutico LAMOSAN, también permite iniciar la sesión dependiendo del usuario; se creó 2 usuarios: el primero es JEFE con un nivel de acceso de 9000 el mismo que va a poder acceder a todas las pantallas de la interfaz y el segundo usuario es OPERADOR con un nivel de acceso de 5000 que va a tener acceso sólo a la pantalla de control y acceso, se puede observar un botón que dice menú el mismo que direcciona a la pantalla de menú. También tiene indicadores que informan cual es el estado del proceso si se encuentra en funcionamiento, pausa o paro de emergencia. La pantalla de acceso se observa en la figura 96.

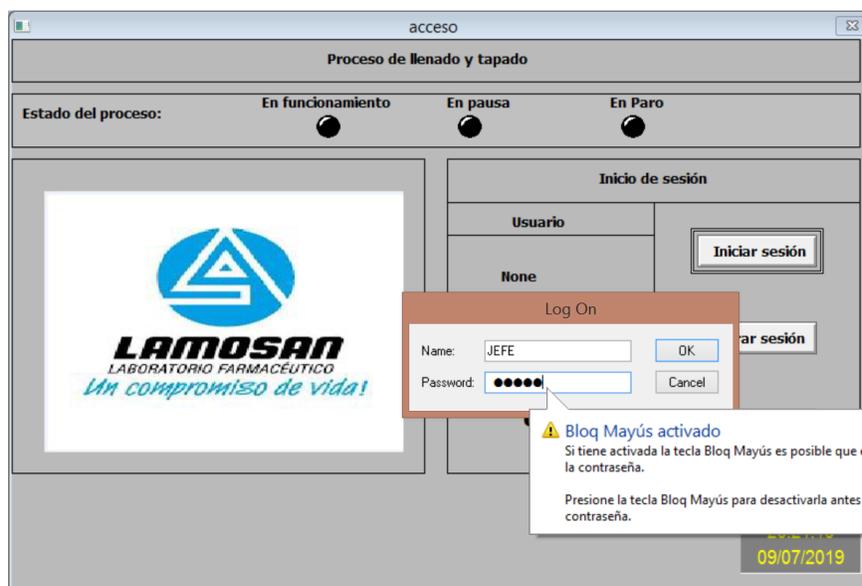


Figura 96. Pantalla de acceso

5.3.2 Menú

En la pantalla de menú también se presentan indicadores que informan cual es el estado del proceso, si se encuentra en funcionamiento, pausa o paro de emergencia. El objetivo principal de esta pantalla es permitir la navegación entre todas las pantallas de la interfaz como se observa en la figura 97.

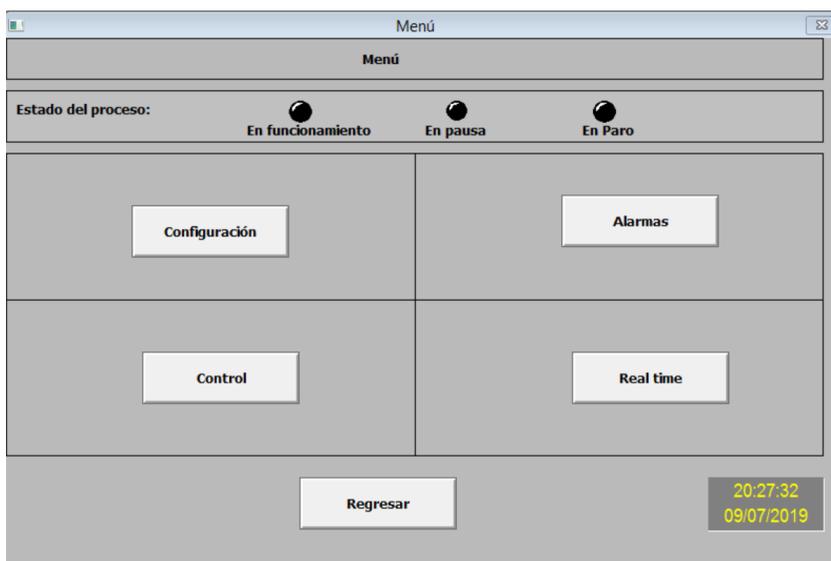


Figura 97. Pantalla de menú

5.3.3 Configuración

En la pantalla de configuración se va a poder modificar parámetros que fueron requeridos por parte del área de producción que son:

- Modificar la velocidad de las bandas transportadoras y la mesa de pulmón, pudiendo elegir entre velocidad baja, media y rápida.

- Poder modificar la altura de la estructura en donde se encuentran las válvulas over flow, para poder llenar las diferentes presentaciones de botellas que son de 60 ml, 120ml y 240 ml.

La pantalla de configuración se observa en la figura 98.

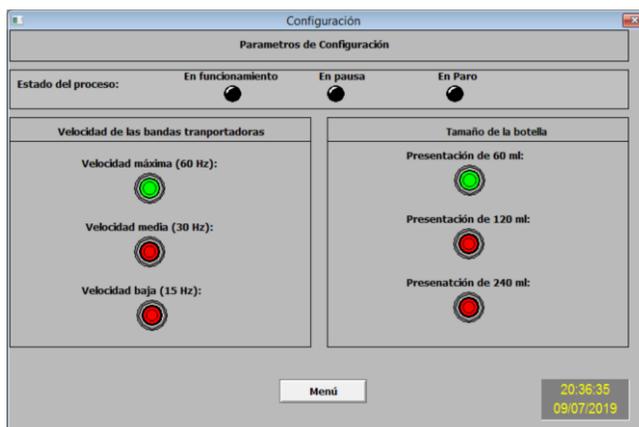


Figura 98. Pantalla de configuración

5.3.4 Control

En la pantalla de control se observa la representación del proceso de producción, un panel de control en donde se puede dar inicio, pausa y paro al sistema, se puede observar indicadores para informar si se ha producido una alarma, y también observar cuántas botellas se han llenado, tapado y erróneas. La pantalla de control se observa en la figura 99.

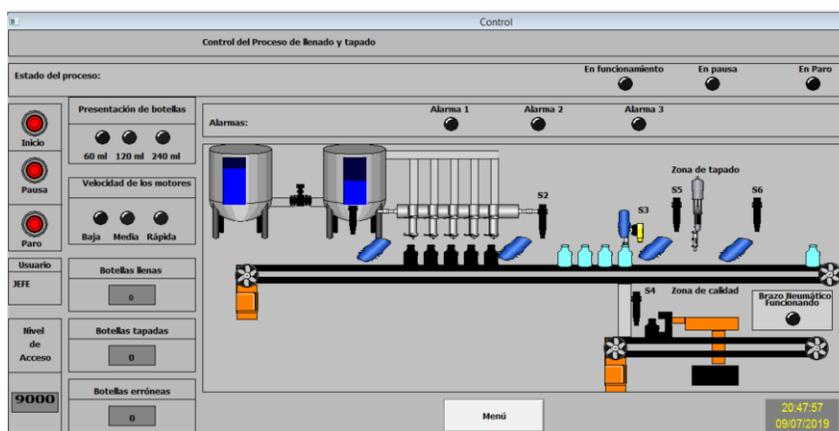


Figura 99. Pantalla de control

5.3.5 Alarmas

En la pantalla de alarmas se va a presentar a modo de historial todas las alarmas que se han producido durante el proceso, observando la fecha, prioridad y que tipo de alarma es la que se ha producido. La pantalla de alarmas se puede observar en la figura 100.

Date	Time	State	Class	Type	Priority	Name	Group
09 jul	20:54		EVENT	SYSTEM	999	\$Operator	\$System
09 jul	20:54		EVENT	SYSTEM	999	\$OperatorDomain	\$System
09 jul	20:54		EVENT	SYSTEM	999	\$OperatorName	\$System
09 jul	20:54		EVENT	SYSTEM	999	\$LogRunning	\$System
09 jul	20:54		EVENT	USER	999	\$OperatorName	\$System
09 jul	20:54		EVENT	USER	999	\$AccessLevel	\$System
09 jul	20:54		EVENT	USER	999	\$Operator	\$System
09 jul	20:54	UNACK	DSC	DSC	1	\$verde	\$System
09 jul	20:54		EVENT	SYSTEM	999	\$NewAlarm	\$System
09 jul	20:57	ACK_RTN	DSC	DSC	1	\$verde	\$System
09 jul	20:57		EVENT	SYSTEM	999	\$NewAlarm	\$System
09 jul	20:57	UNACK	DSC	DSC	1	\$verde	\$System
09 jul	20:57		EVENT	SYSTEM	999	\$NewAlarm	\$System

Figura 100. Pantalla de alarmas

5.3.6 Real time

En esta pantalla se va a observar las tendencias de las activaciones de algunos actuadores como tapadora, cilindro A, cilindro H y el proceso de llenado, los requerimientos de presentación de tendencias las hizo el departamento de producción. En la figura 101 se observa la pantalla de Real time.

5.4 Información compartida con Excel

Para compartir información del proceso con Excel, se realizó otro tipo de configuración en kepsserver ya que es el único que puede enlazar a Excel y a Intouch, y de esta manera compartir la información que necesita el departamento de calidad. Se realizó una interfaz para que el personal

encargado del departamento de calidad pueda usar de manera fácil y observar correctamente la información que requieran. En la figura 102 se observa la interfaz que van a manejar en el área de calidad.

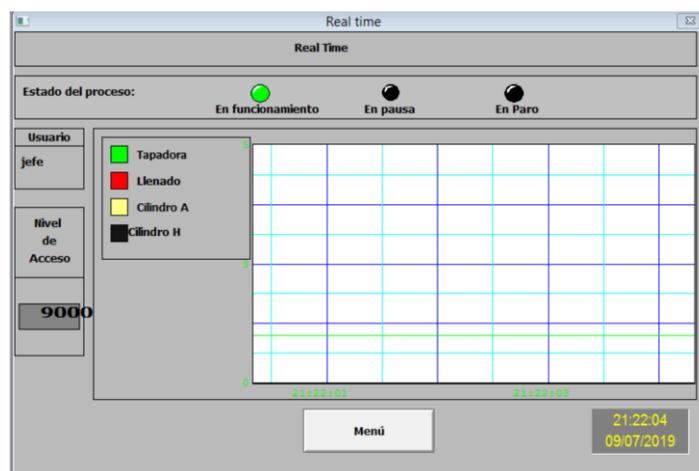


Figura 101. Pantalla de real time

Con la interfaz se va a poder visualizar la cantidad de botellas que se llenaron, taparon y las que no tienen el nivel correcto de líquido, tiene dos botones con los cuales puede actualizar los datos y con otro poner resetear los datos.



Figura 102. Interfaz de Excel

5.5 Pruebas del software de simulación

Se van a realizar pruebas del tipo FAT para poder evaluar el software que se utilizó para la simulación del proceso que se va a repotenciar, las pruebas se realizaron junto con el jefe del área de mantenimiento del laboratorio farmacéutico LAMOSAN para que pueda verificar si cumple con todos los requisitos que necesita el sistema.

Lo que se pretende evaluar a nivel de software es la lógica de control, el HMI, la interfaz de Excel, la conexión y la comunicación.

5.5.1 Lógica de control

En la tabla 68 se observa las pruebas realizadas, para verificar que la lógica de control cumpla con los requerimientos del sistema repotenciado.

Tabla 68

Pruebas de la lógica de control

	Descripción	SI	NO
1	Lógica estructurada	X	
2	Utilizar graficet de seguridad	X	
3	Comprobar secuencia de llenado	X	
4	Comprobar secuencia de tapado	X	
5	Comprobar secuencia de calidad	X	
6	Activación de alarmas	X	
7	Comprobar pausar el proceso	X	

Como resultado se puede observar que la lógica que se propuso para la repotenciación cumple con lo requerido por parte del laboratorio, pudiendo ejecutarse sin ningún problema el proceso de llenado y tapado de medicamentos líquidos.

5.5.2 Comunicación

Se realizó pruebas como se observa en la tabla 69 para verificar que la información se comparta sin ningún problema.

Tabla 69

Pruebas de comunicación

	Descripción	SI	NO
1	Comprobar enlace entre kepsserver y HMI	X	
2	Comprobar enlace entre kepsserver y PLC	X	
3	Comprobar enlace entre kepsserver y Excel	X	
4	Comprobar enlace entre PLC y HMI	X	
5	Comprobar enlace entre HMI y Excel	X	

Como resultado de las pruebas realizadas se puede comprobar que hay una correcta comunicación entre todos los componentes que conforman el sistema.

5.5.3 HMI

Las pruebas que se realizaron al HMI para comprobar si cumple con los requisitos se propuso se observan en la tabla 70.

Tabla 70
Pruebas del HMI

	Descripción	SI	NO
1	Intuitivo	X	
2	Representa de manera gráfica el proceso	X	
3	Descripción de alarmas	X	
4	Estado del proceso	X	
5	Correcta navegación entre las pantallas	X	
6	Niveles de acceso	X	
7	Contraste en los colores utilizados	X	
8	Presentación de tendencias	X	
9	Datos del proceso	X	
10	Representación del estado de los equipos	X	
11	Tamaño del texto adecuado	X	
12	Tamaño adecuado de los comandos	X	
13	Visualización de usuario y nivel de acceso	X	
14	Fatiga visual		X

Como se puede observar el HMI si cumple con todos los requisitos del laboratorio para la repotenciación del proceso, por esta razón la interfaz tiene un buen grado de aceptación.

5.5.4 Excel

Las pruebas que se realizaron se observan en la tabla 71 para comprobar si la interfaz de Excel cumple con lo especificado.

Tabla 71*Pruebas de la interfaz de Excel*

	Descripción	SI	NO
1	Intuitivo	X	
2	Visualización de datos del proceso	X	
3	Colores neutros	X	
4	Tamaño de los comandos adecuado	X	

La interfaz de Excel satisface todos los requerimientos que se han propuesto para el diseño, como se puede observar en las pruebas que se realizó.

CAPITULO VI

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Se presenta un análisis financiero en el que se especifica la inversión para el proyecto, los beneficios que se obtendrán con la implementación después de un periodo de tiempo y el tiempo de recuperación de la inversión. También se demostrará si el proyecto es rentable o no.

6.1 Presupuesto

Se describen en la figura 103 todos los materiales que se van a usar junto con sus precios para de esta manera conocer a cuánto asciende la inversión que se necesita para la implementación del proyecto.

Al total del presupuesto se le añadió una estimación de un 5% de variación debido a que los valores de los precios pueden variar con el tiempo, por tal motivo el valor para una inversión inicial es de 15302,03 el mismo que será totalmente financiado por el laboratorio farmacéutico LAMOSAN.

6.2 Análisis costo-beneficio

Es muy importante realizar un análisis de costo beneficio en donde se va a proyectar un flujo de caja de 5 años y dependiendo de los resultados el laboratorio puede tomar una decisión que sería la de invertir o no en el proyecto de repotenciación. Por el contrario si no se hiciera este análisis puede ser muy perjudicial ya que en ocasiones no habría un retorno de la inversión del proyecto.

N°	Descripción	Cantidad	V.Unitario	V.total	IVA 12%	Total	Participación Porcentual
1	Borneras	138	1,40	193,20	23,18	216,38	1,66%
2	Disyuntor trifásico	3	248,00	744,00	89,28	833,28	6,40%
3	Disyuntor termo magnético	1	39,28	39,28	4,71	43,99	0,34%
4	Riel Din 1m	5	2,50	12,50	1,50	14,00	0,11%
5	Conmutador Ethernet Indust	1	815,05	815,05	97,81	912,86	7,02%
6	Fuente de 24 V DC	1	74,12	74,12	8,89	83,01	0,64%
7	PLC S7-1200	1	400,00	400,00	48,00	448,00	3,44%
8	Módulo de entradas y salidas	1	230,28	230,28	27,63	257,91	1,98%
9	Módulo de salidas analógicas	1	260,87	260,87	31,30	292,17	2,25%
10	Controlador de nivel	1	95,78	95,78	11,49	107,27	0,82%
11	Contactador trifásico	3	91,92	275,76	33,09	308,85	2,37%
12	Variadores de frecuencia	3	189,46	568,38	68,21	636,59	4,89%
13	Guarda motor	3	76,86	230,58	27,67	258,25	1,98%
14	Relé	1	17,12	17,12	2,05	19,17	0,15%
15	Canaleta	8	7,50	60,00	7,20	67,20	0,52%
16	Pulsador verde	1	14,51	14,51	1,74	16,25	0,12%
17	Pulsador azul	1	14,51	14,51	1,74	16,25	0,12%
18	Pulsador paro de emergencia	1	39,99	39,99	4,80	44,79	0,34%
19	Baliza de color verde	1	188,78	188,78	22,65	211,43	1,62%
20	Baliza de color naranja	1	188,78	188,78	22,65	211,43	1,62%
21	Baliza de color rojo	1	188,78	188,78	22,65	211,43	1,62%
22	Conmutador de leva complet	1	26,57	26,57	3,19	29,76	0,23%
23	Motorreductor trifásico	3	176,84	530,52	63,66	594,18	4,57%
24	Conductor 14 AWG (100m)	1	60,00	60,00	7,20	67,20	0,52%
25	Conductor 18 AWG (100m)	1	35,00	35,00	4,20	39,20	0,30%
26	Tapadora eléctrica	1	100,00	100,00	12,00	112,00	0,86%
27	Sensor de nivel tipo flotador	2	76,53	153,06	18,37	171,43	1,32%
28	Sensor capacitivo	5	138,76	693,80	83,26	777,06	5,97%
29	Sensor fotoeléctrico	1	106,59	106,59	12,79	119,38	0,92%
30	Sensor magnético	13	21,15	274,95	32,99	307,94	2,37%
31	Válvula de solenoide	1	255,24	255,24	30,63	285,87	2,20%
32	Electroválvulas neumáticas 3	13	49,89	648,57	77,83	726,40	5,58%
33	Electroválvulas neumáticas 5	2	59,66	119,32	14,32	133,64	1,03%
34	Electroválvula proporcional	1	72,04	72,04	8,64	80,68	0,62%
35	Válvula de llenado de actuad	5	45,00	225,00	27,00	252,00	1,94%
36	Cilindro neumático simple ef	13	40,00	520,00	62,40	582,40	4,48%
37	Actuador giratorio	2	203,85	407,70	48,92	456,62	3,51%
38	Pinza neumática	1	426,72	426,72	51,21	477,93	3,67%
39	Dedos de adaptación automa	2	165,85	331,70	39,80	371,50	2,86%
40	Cilindro neumático doble efe	2	142,19	284,38	34,13	318,51	2,45%
41	TIA Portal Step 7	1	2251,50	2251,50	270,18	2521,68	19,38%
42	Kepserver	1	452,00	452,00	54,24	506,24	3,89%
43	Wonderware Intouch	1	285,00	285,00	34,20	319,20	2,45%
44	Microsoft Excel	1	100,00	100,00	12,00	112,00	0,86%
45	SUBTOTAL			13011,93	1561,43	14573,36	112%
46	Variación del 5%			650,60	78,07	728,67	
47	TOTAL			13662,53	1639,50	15302,03	

Figura 103.Presupuesto del proyecto

Se realiza un flujo de caja el mismo que se le ha proyectado a 5 años, en el cual se observa los ingresos y egresos que tiene el laboratorio farmacéutico LAMOSAN de tal manera que se tenga en cuenta cuál es su utilidad neta por año como se observa en la figura 104.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(-)Inversión	15302,02					
Ventas	0,00	\$ 5.567.896,65	\$ 5.677.533,55	\$ 5.782.934,29	\$ 5.845.672,91	\$ 5.983.512,69
(-) Costo de producción	0,00	\$ 3.456.946,12	\$ 3.589.384,43	\$ 3.635.482,64	\$ 3.790.743,45	\$ 3.889.498,21
Utilidad bruta en ventas	0,00	\$ 2.110.950,53	\$ 2.088.149,12	\$ 2.147.451,65	\$ 2.054.929,46	\$ 2.094.014,48
(-)Gasto de ventas	0,00	\$ 160.342,45	\$ 165.873,34	\$ 171.345,23	\$ 178.673,24	\$ 183.893,25
Utilidad neta en ventas	0,00	\$ 1.950.608,08	\$ 1.922.275,78	\$ 1.976.106,42	\$ 1.876.256,22	\$ 1.910.121,23
(-)Gastos administrativos	0,00	\$ 120.492,09	\$ 120.492,09	\$ 120.492,09	\$ 120.492,09	\$ 120.492,09
Utilidad en Operación	0,00	\$ 1.830.115,99	\$ 1.801.783,69	\$ 1.855.614,33	\$ 1.755.764,13	\$ 1.789.629,14
(-)Gastos financieros	0,00	\$ 50.398,34	\$ 43.765,56	\$ 36.874,06	\$ 29.736,93	\$ 27.218,98
Utilidad antes de participaciones	0,00	\$ 1.779.717,65	\$ 1.758.018,13	\$ 1.818.740,27	\$ 1.726.027,20	\$ 1.762.410,16
(-) 15% Participaciones	0,00	\$ 266.957,65	\$ 263.702,72	\$ 272.811,04	\$ 258.904,08	\$ 264.361,52
Utilidad antes de impuestos	0,00	\$ 1.512.760,00	\$ 1.494.315,41	\$ 1.545.929,23	\$ 1.467.123,12	\$ 1.498.048,64
(-) 22% impuesto a la renta	0,00	\$ 332.807,20	\$ 328.749,39	\$ 340.104,43	\$ 322.767,09	\$ 329.570,70
Utilidad neta		\$ 1.179.952,80	\$ 1.165.566,02	\$ 1.205.824,80	\$ 1.144.356,03	\$ 1.168.477,94

Figura 104. Flujo de caja

Una vez obtenida la utilidad neta, se puede realizar el cálculo del VAN donde se ha propuesto una tasa de descuento del 6 %, se van a sumar todas utilidades netas con la siguiente fórmula:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+K)^1} + \frac{Q_2}{(1+K)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+K)^n} \quad (2)$$

Donde:

- A es la inversión inicial.
- Qn son las utilidades netas de un periodo de tiempo.
- K es la tasa de descuento

Como resultado se obtuvo un VAN de \$ 1.757.908,14.

Para el cálculo del TIR, se tiene que hacer al VAN 0, en donde se tiene que despejar la tasa de descuento K, por consiguiente se utiliza la siguiente fórmula:

$$0 = -A + \frac{Q_1}{(1+K)^1} + \frac{Q_2}{(1+K)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+K)^n} \quad (3)$$

Donde:

- A es la inversión inicial.
- Q_n son las utilidades netas de un periodo de tiempo.
- K es la tasa de descuento

Como resultado se obtuvo un TIR del 85,9%

Con los valores que se obtuvo del VAN y del TIR nos indican que el proyecto es rentable y si vale la pena la inversión, ya que se va a obtener más ganancias con la implementación del proyecto.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- El diseño del tablero eléctrico cumple con las especificaciones que requería el laboratorio farmacéutico, tomando en cuenta la seguridad y la protección de los equipos.
- Se logró la mejora del tablero eléctrico mediante el diseño eléctrico y electrónico cumpliendo normas nacionales e internacionales.
- Con el correcto dimensionamiento de componentes, se logró escoger la instrumentación adecuada y óptima para el funcionamiento del proceso de llenado y tapado.
- Se logró realizar una lógica de control donde se garantiza el funcionamiento del proceso y proporcionar seguridad al personal que se encuentre a cargo del funcionamiento de la máquina de llenado y tapado.
- Se logró el diseño de los planos eléctricos y electrónicos donde se detallan de manera específica las conexiones de los equipos, con lo que se tuvo una gran aceptación por parte del laboratorio farmacéutico LAMOSAN.
- Se logró el diseño de una interfaz HMI donde el operador puede observar el funcionamiento del proceso en tiempo real, también proporcionando niveles de acceso para que no cualquier usuario pueda poner en funcionamiento el sistema y lo más importante se incluyó una visualización de alarmas donde se puede observar al detalle las alarmas que se han producido durante el proceso.
- Con la simulación del proceso se logró comunicar de manera efectiva a los funcionarios del laboratorio lo que se pretendía con la repotenciación del proceso, en la cual pudieron observar

como su proceso productivo mejoraría de manera significativa y de esta manera causar interés para una futura implementación del proyecto.

- Con el análisis financiero que se realizó se demuestra que el proyecto es rentable y la inversión en la repotenciación del proceso sería cubierta en poco tiempo y lo más importante generando más ganancias al laboratorio farmacéutico LAMOSAN.

7.2 Recomendaciones

- Adquirir las licencias de los softwares que se han utilizado durante el proyecto para poder controlar, supervisar y adquirir los datos sin ninguna interrupción por errores que son provocados por falta de las licencias.
- Asegurarse que los componentes que se adquiera cumplan con las especificaciones que se han planteado en el proyecto, ya que si no se lo hace puede causar un mal funcionamiento de todo el sistema.
- Para el diseño de una HMI de un laboratorio farmacéutico, no utilizar mucho color ya que los operadores pasan mucho tiempo en los procesos lo cual puede producir una fatiga visual y provocar mareos, dolores de cabeza, lo cuales pueden ser causantes de accidentes dentro del proceso y producirse un problema laboral dentro del laboratorio.
- Explicar el funcionamiento del proceso repotenciado al personal que se encuentre a cargo, para que no ocurran accidentes y el manejo de la máquina sea el correcto, para evitar que se produzcan daños de la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Actuador giratorio SMC| RS Components. (2019). Recuperado 16 de mayo de 2019, de <https://es.rs-online.com/web/p/actuadores-giratorios/3025800/>
- Angela Olivia Yanza Montalván. (2016). Diagnóstico del nivel de automatización de los procesos de fabricación para el seguimiento y control en la industria farmacéutica de Guayaquil. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 14.
- Automation in Pharmaceutical Manufacturing. (s. f.). Recuperado 6 de febrero de 2019, de Contract Pharma website: https://www.contractpharma.com/issues/2018-03-01/view_features/automation-in-pharmaceutical-manufacturing/
- Business, V. (2018a, abril 23). Sistema SCADA. Recuperado 26 de febrero de 2019, de Vester Training Center website: <https://vestertraining.com/tecnologia-scada/>
- Business, V. (2018b, abril 30). Protocolo de comunicacion. Recuperado 26 de febrero de 2019, de Vester Training Center website: <https://vestertraining.com/protocolos-comunicacion-redes-industriales/>
- Cilindro neumático Festo , Acción Doble | RS Components. (2019). Recuperado 17 de mayo de 2019, de <https://es.rs-online.com/web/p/cilindros-perfil-neumaticos/1215255/>
- Cilindro neumático redondo SMC | RS Components. (2019). Recuperado 15 de mayo de 2019, de <https://es.rs-online.com/web/p/actuadores-redondos-neumaticos/4358842/>
- de, J. (s. f.). *La industria farmacéutica en el ecuador*. 9.
- Dedos de adaptacion automática Festo. (2019). Recuperado 17 de mayo de 2019, de https://www.festo.com/cat/es_es/products_DHAS
- Detectar nivel de líquidos. ¿Fácil o difícil? (s. f.). Recuperado 21 de mayo de 2019, de <http://www.robertobarco.es/2014/11/detectar-agua.html>

Different Types of Level Sensors and its Applications. (2018, marzo 15). Recuperado 8 de febrero de 2019, de EIProCus - Electronic Projects for Engineering Students website: <https://www.elprocus.com/different-types-level-sensors-applications/>

E2K-X8MF1 2M | Sensor capacitivo, 8 mm, PNP-NO, 200 mA, M18 x 1, IP66 | RS Components. (s. f.). Recuperado 14 de mayo de 2019, de <https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-proximidad-capacitivos/7449944/>

Ethernet para automatización de procesos - Pharmatech. (s. f.). Recuperado 30 de septiembre de 2018, de <https://www.pharmatech.es/productos/20170615/ethernet-automatizacion-procesos#.W7Fiz3tKjX5>

Fabricio Andrés Peralta Chamba. (2006). *Diseño y simulación de la automatización del horno de secado de madera de la empresa dymap*. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, SANGOLQUI.

Filali, S. (2014). *Evaluación de estándares HMI/SCADA y aplicación de la guía GEDIS a los Sistemas SCADA del NAP (Network Access Point) de Canarias*. San Cristobal de La Laguna.

Filling & Labelling Machine - Powder, Liquid, Bottle Filling Machine, Tube Filling Machine. (2016, agosto 12). Recuperado 6 de febrero de 2019, de Shree Bhagwati Machtech Pvt. Ltd. website: <https://www.bhagwatipharma.com/filling-labelling-machine-powder-liquid-bottle-filling-machine-tube-filling-machine/>

Fiset, J.-Y. (2009). *Human-machine Interface Design for Process Control Applications*. ISA.

García Villacís Manuel Estuardo. (2014). *Sistema SCADA para el proceso de paletizado L4 de envases de cristal en la empresa Cristalería del Ecuador S.A Cridesa de Guayaquil*. Universidad Técnica de Ambato.

Guarín, L. S., Guzmán, L. J. M., & Trejos, E. D. (2015). *Transferencia óptima de datos para el monitoreo y control remoto de sistemas en tiempo real*. Instituto Tecnológico Metropolitano.

Guia tecnica ainia de envase y embalajeEmbotelladoras. (s. f.). Recuperado 24 de enero de 2019, de

<http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wp/55C1539B41E9E38BC1256F250063FA82?Opendocument>

HMI Lifecycle. (2017, agosto 8). Recuperado 12 de marzo de 2019, de Affinity Energy website:

<https://www.affinityenergy.com/isa-101-hmi-lifecycle/>

Hollifield, B., & Perez, H. (2017). *A PAS White Paper Version 3.0*. 30.

Hollis, P. (2018, mayo 22). Role of Actuators in Enabling Industrial Automation Functions.

Recuperado 13 de febrero de 2019, de Venture Mfg. Co. website:

<http://www.venturemfgco.com/blog/role-of-actuators-in-enabling-industrial-automation-functions/>

Human Machine Interface. (2019). Recuperado 28 de febrero de 2019, de

https://automationorient.com/human_machine_interface.html

Inductive Automation. (2018). What is HMI? Recuperado 28 de febrero de 2019, de Inductive

Automation website: <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>

Industry Support Siemens. (2019). Recuperado 13 de mayo de 2019, de

<https://support.industry.siemens.com/cs/pd/266675?pdtdi=td&dl=es&lc=es-WW>

Interruptor nivel líquidos,mont. Externo | RS Components. (2019). Recuperado 14 de mayo de

2019, de <https://es.rs-online.com/web/p/products/4318406/>

Jordi Rivero Coll. (2005). *Diseño y implantación del sistema de control para un reactor de espera y una centrífuga de una planta farmacéutica*. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, BARCELONA.

Kinco. (2018). Recuperado 25 de abril de 2019, de Imserve - Servomotores y motores a pasos website: <https://imserve.com/venta-variadores-de-frecuencia/>

Kominek, D. (2009). *The Every Man's Guide to OPC*.

LAMOSAN. (2013, febrero 14). lamosan. Recuperado 17 de enero de 2019, de Lamosan website: <https://www.lamosan.com.ec/es/>

LAMOSAN. (s. f.). Nuestra historia. Recuperado de <http://www.lamosan.com.ec/es/quienes-somos/>

Los sensores inductivos con todo el sentido. (2015). *Revista Española de Electrónica*. Recuperado de <https://www.redeweb.com/articulos/componentes/los-sensores-inductivos-con-todo-el-sentido/>

Marketing. (2015, octubre 30). The 4 Things You Need to Know about ISA 101 HMI Standard. Recuperado 12 de marzo de 2019, de GrayMatter website: <https://graymattersystems.com/the-4-things-you-need-to-know-about-isa-101-hmi-standard/>

Martínez, V., & Carolina, A. (2016). *Diseño y simulación de un sistema de control automático para un horno tipo túnel para la línea de galletería de la empresa Nutrinaturals*. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, SANGLQUI.

Matriz de Priorización. (2012, marzo 5). Recuperado 27 de junio de 2019, de Aiteco Consultores - Desarrollo y Gestión website: <https://www.aiteco.com/matriz-de-priorizacion/>

- Mettler Toledo. (2006). Automatización Farmacéutica. Recuperado de https://www.mt.com/mt_ext_files/Editorial/Generic/7/Groninger_case_study_mag1_2006_Editorial-Generic_1146228864130_files/Automatizaci%C3%B3n%20farmac%C3%A9utica.pdf
- Mordaza neumática SMC | RS Components. (2019). Recuperado 16 de mayo de 2019, de <https://es.rs-online.com/web/p/mordazas-neumaticas/8412329/>
- Moreno, E. G. (2001). *Automatización de procesos industriales*. México: alfaomega.
- multicontrol. (2018). Finales de Carrera. Recuperado 8 de febrero de 2019, de <https://www.multicontrol.com.co/index.php/productos/componente/finales-de-carrera>
- Norma Patricia Molina Escobar. (2014). *Modelo de mejora en los procesos de fabricación, empresa farmacéutica mexicana. Caso de estudio*. México.
- Ogata, K. (1998). *Ingeniería de Control Moderna* (3ra ed.). México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- OMRON Global. (2019). Recuperado 8 de febrero de 2019, de <https://www.omron.com/>
- Piedrafita, P. (2013). *Ingeniería de la Automatización Industrial* (2 ed).
- Pneumatic Actuator. (2018). Recuperado 13 de febrero de 2019, de indiamart.com website: <https://www.indiamart.com/proddetail/pneumatic-actuator-8805701212.html>
- Process Optimization and Automation in Pharmaceutical Manufacturing. (2016, junio 13). Recuperado 6 de febrero de 2019, de <https://www.rscal.com/process-optimization-automation-pharmaceutical-manufacturing/>
- Salazar, O. (2011). *Buses de campo y protocolos en redes industriales*.
- Sandra B. Vallejo. (2006). *Aspectos generales de la automatización industrial del sector farmacéutico*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Santín, M. A. R. (s. f.). *Automatismos industriales*. 50.

Schneider Electric. (2018). Recuperado 24 de abril de 2019, de <https://www.se.com/co/es/product/XB4BA31/pulsador-verde-%C3%B8-22---retorno-resortenivelado---1-na/>

seleccion-de-calibre-en-cables-para-construccion.pdf. (s. f.). Recuperado de <http://www.latincasa.com.mx/SiteCollectionDocuments/seleccion-de-calibre-en-cables-para-construccion.pdf>

Sensor Fotoeléctrico Panasonic| RS Components. (2019). Recuperado 14 de mayo de 2019, de <https://es.rs-online.com/web/p/sensores-fotoelectricos/8089121/>

Sensores Capacitivos. (2018). Recuperado 8 de febrero de 2019, de https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Seguridad-de-M%C3%A1quinas-y-Sensores-Industriales/Sensores-Industriales/Sensores-Capacitivos/Sensores-Capacitivos/p/MKT_wdc_brazil_sensors_capacitive_sensors

Tapadora Electrica. (2019). Recuperado 21 de mayo de 2019, de olx website: <//bogotacity.olx.com.co/tapadora-electrica-iiid-1033702616>

Täusend. (2018). Recuperado 25 de abril de 2019, de Zuendo website: <https://www.zuendo.com/70-vueltas-finales/2486-motorreductor-monofasico-o-trifasico-055-kw-075-cv-i-40.html>

Tesis_t944id.pdf. (s. f.).

Types of Industrial Automation. (2015, septiembre 26). Recuperado 6 de febrero de 2019, de electricaltechnology website: <https://www.electricaltechnology.org/2015/09/what-is-industrial-automation.html>

Válvula de control proporcional SMC | RS Components. (2019). Recuperado 15 de mayo de 2019, de <https://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-control-accionado-por-solenoide-piloto-neumaticas/1735192/>

Válvula de llenado neumática de maquinaria de llenado de bebidas | COVNA. (2019). Recuperado 15 de mayo de 2019, de <https://www.covnavalve.com/products/pneumatic-valve/pneumatic-angle-seat-valve/filling-valve.html>

Válvula de solenoide Festo | RS Components. (2019). Recuperado 14 de mayo de 2019, de <https://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-solenoide/1637311/>

Vásquez, E. A. O. (2018). *Los protocolos de comunicación en el entorno industrial, sus fundamentos y su importancia en el sistema de automatización de una planta de generación de energía geotérmica*. 124.

vCard, D. (2018). Sensor magnético. Recuperado 8 de febrero de 2019, de <https://www.siko-global.com/es-es/productos/magline-medicion-magnetica-de-longitudes-y-angulos/sensores-magneticos/lec100>

Wonderware InTouch – Especificaciones técnicas - WonderWare. (s. f.). Recuperado 22 de mayo de 2019, de Wonderware Software - Powering the Industrial World website: <https://www.wonderware.es/hmi-scada/intouch/especificaciones-tecnicas/>