



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:

“INGENIERA EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES”

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL PI PARA UN BOMBO
DE LAQUEADO**

AUTOR: JENNY JOHANNA GALÁN VILLACRÉS

TUTOR: Ing. David Patricio Cando Garzón Mg.

TUTOR TÉCNICO: Ing. David Patricio Cando Garzón Mg.

AÑO: 2017

Datos generales:

Tema:	Diseño e implementación de un control PI para un bombo de laqueado
Estudiante:	Jenny Johanna Galán Villacrés
Carrera:	Electrónica Digital y Telecomunicaciones
Tutor:	Ing. David Cando Mg.
Asesor Técnico:	Ing. David Cando Mg.
Fecha:	18 de abril de 2017

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Jenny Johanna Galán Villacrés, CI 1718857590 autor/a del trabajo de graduación:

Diseño e implementación de un control PI para un bombo de laqueado, previo a la obtención del título de **Ingeniería en Electrónica Digital y Telecomunicaciones** en la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de difundir el respectivo trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de graduación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, abril del 2017

Atentamente.



Jenny Johanna Galán Villacrés.

C.I. 1718857590

ÍNDICE

SECCIÓN I.....	1
1.1. Problema de Investigación.....	1
1.1.1. Problema principal.....	1
1.1.2. Problemas secundarios.....	1
1.2. Objetivo General.....	1
1.3. Objetivos Específicos.....	1
1.4. Introducción.....	2
1.5. Hipótesis.....	3
SECCION II.....	4
2.1. Marco Teórico.....	4
2.1.1. Instrumentación industrial.....	4
2.1.1.1. Tipos de control.....	5
2.1.1.2. Control Proporcional - Integral.....	6
2.1.1.3. Elección del control PI.....	7
2.1.2. Elementos a utilizar.....	8
2.1.2.1. Motor.....	8
2.1.2.1.1. Motor de corriente continua.....	8
2.1.2.1.2. Motor de corriente alterna.....	8
2.1.2.1.2.1. Motor con jaula de ardilla.....	8
2.1.2.2. Sensor.....	9
2.1.2.2.1. PT 100.....	9
2.1.2.2.2. Principio de funcionamiento.....	10
2.1.2.2.3. Ventajas del PT 100.....	10
2.1.2.2.4. Conexión de la PT 100.....	10
2.1.2.2.4.1. Conexión con tres hilos.....	10

2.1.2.3.	Contactor	10
2.1.2.3.1.	Contactor AC3	11
2.1.2.4.	Variador de frecuencia.....	11
2.1.2.5.	UPS – Sistema de alimentación ininterrumpida	12
2.1.2.6.	Válvula de vapor diferencial.....	13
2.1.2.7.	Fuente de alimentación.....	13
2.1.2.8.	Supervisor de voltaje	14
2.1.2.9.	Transductor.....	14
2.1.2.10.	Controlador lógico programable.....	15
2.1.2.10.1.	PLC S7-1200.....	15
2.1.2.10.2.	Módulos del dispositivo	16
2.1.2.10.3.	SIMATIC STEP 7 Basic	16
2.1.2.10.3.1.	Vista del portal	16
2.1.2.10.3.2.	Vista del proyecto.....	17
2.1.2.10.4.	Características del PLC S7-1200	17
2.1.2.10.4.1.	Características adicionales	18
2.1.2.10.5.	CPU.....	18
2.1.2.10.6.	Entradas analógicas.....	19
2.1.2.10.7.	Memoria de usuario	19
2.1.2.10.7.1.	Memoria de carga.....	20
2.1.2.10.7.2.	Memoria de trabajo	20
2.1.2.10.7.3.	Memoria retentiva	20
2.1.2.10.8.	Rendimiento.....	20
2.1.2.10.9.	Módulos de señales	21
2.1.2.10.9.1.	Signal board y communication board.....	21
2.1.2.10.9.2.	Módulo switch compacto	22

2.1.2.10.10.	Control PID del PLC S7 1200.....	23
2.1.2.11.	Pantalla táctil HMI.....	23
2.1.3.	Comunicación industrial	24
2.1.3.1.	PROFINET	24
2.1.3.1.1.	Características de PROFINET	24
2.1.3.2.	Ethernet industrial.....	24
2.1.4.	Máquina de laqueado	25
2.1.4.1.	Recubrimiento de comprimidos.....	26
2.2.	Marco Conceptual.....	26
SECCION III		31
3.1.	Metodología	31
3.2.	Propuesta.....	36
3.2.1.	Diseño de hardware.....	36
3.2.1.1.	Control del bombo de laqueado.....	36
3.2.1.2.	Control de velocidad del bombo.....	36
3.2.1.2.1.	Modo manual	36
3.2.1.2.2.	Modo automático	37
3.2.1.3.	Control de temperatura de la cámara del bombo de laqueado.....	37
3.2.1.4.	Control de succión de polvos.....	37
3.2.1.4.1.	Control de velocidad del colector de polvos en manual.	38
3.2.1.4.2.	Control de velocidad del colector de polvos en automático.	38
3.2.1.5.	Control de laca pulverizada	38
3.2.1.5.1.	Control de velocidad de la bomba de inyección en manual.....	38
3.2.1.5.2.	Control de velocidad de la bomba de inyección en automático.....	39
3.2.2.	Diseño de software	45
3.2.2.1.	Diagrama de flujo del software	45

3.2.2.2.	Movimiento giratorio del bombo.....	45
3.2.2.3.	Inyección de laca para los comprimidos.....	45
3.2.2.4.	Movimiento del torit.....	46
3.2.2.5.	Calentamiento del bombo.....	47
3.2.3.	Diseño esquemático.....	53
3.2.3.1.	Diagramas de Fuerza	53
3.2.3.2.	Diagramas de Control.....	58
3.2.3.3.	Diagrama de Red	59
3.2.3.4.	Diseño del sistema.....	59
3.2.3.5.	Diagrama electroneumático.....	59
3.3.	Implementación.....	67
3.3.1.	Datos de la empresa.....	67
3.3.2.	Términos y abreviaturas	68
3.3.3.	Actividades realizadas.....	68
3.3.4.	Configuración del control PI.....	81
3.4.	Evaluación Financiera.....	83
3.4.1.	Flujo de caja financiero	84
3.5.	Pruebas de funcionamiento	85
3.5.1.	Acciones requeridas para la aprobación.....	89
3.6.	Cronograma.....	94
SECCION IV		95
4.1.	Conclusiones.....	95
4.2.	Recomendaciones	96
4.3.	Bibliografía	97
ANEXOS		99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de control y automatización analógico	4
Figura 2 - Sistema de control y automatización digital	4
Figura 3 - Acciones de control.....	5
Figura 4 - Respuestas de un control PI	7
Figura 5 - Ruido a la entrada de la señal.....	7
Figura 6 - Salida del controlador PID	7
Figura 7 - Control PI.....	8
Figura 8 - Motor jaula de ardilla	9
Figura 9 - Sensor PT 100	9
Figura 10 - Conexión a tres hilos.....	10
Figura 11 - Contactor AC3	11
Figura 12 - Variador de frecuencia	12
Figura 13 - UPS	12
Figura 14 - Válvula de vapor diferencial	13
Figura 15 - Fuente de alimentación	14
Figura 16 – Supervisor de voltaje	14
Figura 17 – Transductor para válvula de vapor	15
Figura 18 - Partes del PLC S7-1200	15
Figura 19 - Dispositivos del PLC.....	16
Figura 20 - Vistas del portal.....	17
Figura 21 - Vistas del proyecto.....	17
Figura 22 - Conjunto de módulos del PLC S7-1200.....	18
Figura 23 - Componentes desmontables	18
Figura 24 - Entradas analógicas.....	19

Figura 25 - Memoria de usuario.....	20
Figura 26 - Signal board y communication board.....	22
Figura 27 - Módulo switch.....	22
Figura 28 - Control PID	23
Figura 29 - Pantalla táctil HMI	24
Figura 30 - Máquina de laqueado ACCELA COTA	25
Figura 31 - Brazo extraíble	25
Figura 32 - Rociado de los comprimidos.....	26
Figura 33 - Control del bombo de laqueado.	40
Figura 34 - Control de velocidad del bombo de laqueado.....	41
Figura 35 – Control de temperatura de la cámara del bombo de laqueado.....	42
Figura 36 - Control de succión de polvos	43
Figura 37 - Control de laca pulverizada.....	44
Figura 38 - Diagrama de Flujo del Software	48
Figura 39 - Movimiento giratorio del bombo	49
Figura 40 - Proceso de laqueado del bombo.....	50
Figura 41 - Proceso del movimiento del Torit.....	51
Figura 42 - Calentamiento del bombo	52
Figura 43 - Diagrama eléctrico de potencia del bombo de laqueado TE – 01.....	56
Figura 44 - Diagrama eléctrico de potencia del bombo de laqueado TE - 02	57
Figura 45 - Diagrama de conexión del PLC S7 1200 (CPU 1212 C).....	61
Figura 46 - Diagrama de conexión del PLC S7 1200 (CPU 1214 C).....	62
Figura 47 - Diagrama de conexión por puertos Ethernet.....	63
Figura 48 - Diseño del sistema para el bombo de laqueado	64
Figura 49 - Descripción de la botonera del bombo de laqueado.....	65
Figura 50 - Diagrama electroneumático	66

Figura 51 - Diagrama de procesos del sistema	67
Figura 52 - Mantenimiento de motor	69
Figura 53 - Válvula proporcional para la manejadora	71
Figura 54 - Tablero principal	72
Figura 55 - Tablero secundario	73
Figura 56 - Tablero terciario	74
Figura 57 - Botonera original.....	75
Figura 58 - Pantalla de procesos	76
Figura 59 - Partes de la botonera del bombo de laqueado ACCELA COTA	77
Figura 60 - Programación del sistema de control	78
Figura 61 - Circuito electro neumático del bombo	78
Figura 62 - Circuito electro neumático de la válvula proporcional	79
Figura 63 - Válvula proporcional.....	79
Figura 64 - Sensor PT 100	80
Figura 65 - Medición de temperatura.....	80
Figura 66 - Mantenimiento de pistolas de pulverización.....	81
Figura 67 - PLC S7 1200 - CPU 1212 C	82
Figura 68 - Ventana para opciones de llamada.....	83
Figura 69 - Ventana de ajustes básicos	83
Figura 70 - Recuperación de la inversión	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Comportamientos de las variables K_p , T_i y T_d	6
Tabla 2 - Características de los CPU	19
Tabla 3 - Módulo de señal 1232 AQ.....	21
Tabla 4 - Módulo de señal 1234 AQ.....	21
Tabla 5 - Simbología para diagramas de fuerza.....	55
Tabla 6 - Simbología y Nomenclatura para Diagramas de Control.....	58
Tabla 7 - E/S del PLC S7 1200 CPU 1212 C	58
Tabla 8 - E/S del PLC S7 1200 CPU 1214 C	59
Tabla 9 - Nomenclatura del diagrama electroneumático	60
Tabla 10 - Simbología del diagrama electroneumático	60
Tabla 11 - Datos de la empresa Farmacid S.A.....	67
Tabla 12 - Siglas y abreviaturas	68
Tabla 13 - Costo por inversión.....	84
Tabla 14 - Flujo de caja Financiera.....	86
Tabla 15 - Pruebas realizadas	87
Tabla 16 - Segunda prueba realizada	92

ANEXOS

Anexo 1 Evaluación Financiera

Anexo 2 Manual de Usuario

Anexo 3 Manual Técnico

Anexo 4 Programación

Anexo 5 Certificado Auspicio del Proyecto

Anexo 6 Certificado Entrega del Proyecto

Anexo 7 Antiplagio

Agradecimientos

A MI MADRE

Por el apoyo brindado para culminar mi trayecto escolar y mis estudios universitarios y por apoyarme en los momentos difíciles que se presentaron en este duro camino de la educación.

A MI HERMANO

Por estar a mi lado siempre que lo necesito, ser un gran apoyo en mi vida estudiantil y en mis proyectos personales.

A MI ESPOSO

Por apoyarme estos años tanto económicamente como moralmente y mostrarme el ejemplo del trabajo duro, por estar conmigo en las buenas y en las malas.

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre el diseño e implementación de un sistema de control PI para el bombo de laqueado de comprimidos de la empresa farmacéutica Farmacid, basada en la instalación de dos PLC S7 1200, los cuales ayudan en la realización de un sistema de control proporcional – integral. Las condiciones iniciales del bombo de laqueado fueron que este se encontró fuera de servicio debido a que no poseía un sistema de control eléctrico para su puesta en marcha de forma automática o manual; además que no dispone de planos eléctricos del fabricante, ni manual de operación del equipo para su funcionamiento, todos los elementos de instrumentación, medición se encontraron desconectados, con sus cables cortados y la bomba de dosificado de laca inoperante.

Por los motivos antes descritos, se procedió a instalar los diferentes controladores como variadores de frecuencia, sensores de temperatura, transductores, etc., con el fin de volverle operativa a la máquina en mención.

Palabras claves:

Ethernet industrial, PLC (controlador lógico programable), control proporcional – integral, variador de frecuencia, transductor, HMI (human machine interface)

ABSTRACT

This project involves the design and implementation of a PID controller system for a tablets' coating drum of the pharmaceutical company, Farmacid. The project is based on the installation of two PLC S7 1200, which contribute in the construction of a proportional – integral controller system. Initially, the coating drum was not operational because it did not have an electrical control system for starting it up automatically or manually; also, it did not have its manufacturer electrical drawings or equipment operating manual; all the instrumentation and measurement elements were disconnected, with its wires cut off which leads to an inoperative lacquer dosing pump.

In order to overcome the identified issues and make the machine operational, several controllers were install, such as variable frequency drives, temperature sensors, transducers, among others.

Key words:

Ethernet industrial, PLC (Programmable Logic Controller), proportional – integral controller, variable frequency drive, transducers, HMI (human machine interface)

SECCIÓN I

1.1. Problema de Investigación.

1.1.1. Problema principal.

El segundo bombo de laqueado que posee la empresa FARMACID S.A. está fuera de servicio debido a que no tiene un sistema de control eléctrico para su puesta en marcha de forma automática o manual.

1.1.2. Problemas secundarios.

- No dispone de planos eléctricos del fabricante.
- No tiene manual de operación del equipo para operación.
- Todos los elementos de instrumentación y medición se encuentran desconectados y los cables están cortados.
- La bomba de dosificado de laca se encuentra inhabilitado, ya que el elemento motriz es un motor de corriente continua y no se dispone del driver.
- El sistema de calentamiento para el bombo no se encuentra operativo, es decir no tiene el control automático del mismo.
- La máquina no dispone de protecciones para salvaguardar al personal operativo.

1.2. Objetivo General.

Diseñar e implementar una solución que permita habilitar el bombo de laqueado ACCELA-COTA para la producción de grageas, de manera que se cumpla con los requerimientos de calidad por parte de la empresa Farmacid S.A.

1.3. Objetivos Específicos.

- Investigar el proceso de laqueado de grageas y el funcionamiento de bombos para el mismo.
- Diseñar un control PI (Proporcional Integral) para la inyección de aire caliente, el cual debe controlar temperatura.
- Construir un sistema de caudal variable para el flujo de laca.
- Implementar un sistema de velocidad variable para la cámara del bombo.
- Programar una interfaz HMI (Human Machine Interface) amigable con el usuario.

- Colocar un sistema de seguridad para evitar daños en el proceso por cortes de energía y accidentes laborales.

1.4. Introducción.

Grupo SOLEMEEC fue fundado en el año 2012 con el fin de cubrir la necesidad de la industria ecuatoriana para brindar al cliente calidad, garantía, confianza y puntualidad en los diversos servicios industriales que se presenta en la industria.

Dentro de la oferta de productos que ofrece el Grupo Ingenieril Solemtec, está brindar servicio especializado de reingeniería, diseño y construcción de maquinaria industrial farmacéutica, cosmética y alimentaria, por lo cual tiene como uno de los principales clientes a FARMACID S.A, la cual es una empresa dedicada a la elaboración de productos farmacéuticos, que lidera la fabricación de formas estériles en el Ecuador.

Farmacid al momento dispone de dos bombos de laqueado, de los cuales solo uno se encuentra operativo para los diferentes procesos de laqueado de pastillas; estos deben cumplir estándares de calidad, como buenas prácticas de manufactura y requerimiento locales en la producción de fármacos.

El segundo bombo de laqueado requiere diferentes condiciones para su correcto funcionamiento y que cumpla las condiciones de calidad propias de la empresa Farmacid entre ellos destacan las siguientes condiciones.

Un sistema de control automático que permita la regulación de temperatura de una forma continua que permite el sistema PI (Proporcional Integrativo).

Requiere un sistema de aspiración para extraer el polvo producido por el movimiento de las pastillas dentro de la cámara del bombo.

La máquina requiere el flujo de laca de la bomba ya que cada uno de los productos necesita diferentes condiciones en su elaboración.

Con el fin de realizar la protección adecuada de los diferentes lotes y no evitar la pulverización de la laca, principal daño de los lotes, se sigue una secuencia en el control de las electroválvulas, de esta manera se evita cualquier daño de ese tipo, el control del aire en la

pulverización y en la abertura de las agujas de las pistolas en el paso de aire y laca, la última electroválvula controla una válvula neumática que permite el paso de laca impulsada por la bomba de lóbulos.

En virtud de esta problemática la empresa Farmacid requiere la puesta en marcha del bombo de laqueado ACCELA-COTA que, por tal razón ha solicitado de la experiencia en maquinarias farmacéuticas de parte del Grupo Ingenieril Solemtec con el objetivo de diseñar e implementar un sistema de control PI que permita la recuperación de la misma y que cumpla las garantías necesarias con el propósito de proteger a los operadores y el proceso.

El Grupo Solemtec para el desarrollo de este proyecto ha designado como responsable del mismo a la Tecnóloga Jenny Galán, a la cual entregará todos los recursos humanos y económicos en relación con el desarrollo y finalización satisfactoria del mismo.

1.5. Hipótesis.

La empresa Farmacid S.A. en los últimos años llegó a tener un crecimiento significativo en el área de producción, por este motivo necesita poner en marcha un segundo bombo de laqueado para abastecer su demanda.

El bombo que se encuentra deshabilitado tiene las siguientes falencias, no tiene diagramas eléctricos, tanto de control y fuerza no tiene manuales de operación ni del proceso que realiza.

Por este motivo, se va a realizar el diseño e implementación de un control PI para el bombo de laqueado, en el cual se pretende utilizar equipos de instrumentación de última tecnología, así como dispositivos de control eléctrico.

La puesta en marcha del bombo de laqueado ACCELA-COTA se llevará a cabo de acuerdo a un orden cronológico, en el mismo que estarán implicados personal de mantenimiento y del área de producción, con el fin que tengan el conocimiento tanto del montaje de los equipos; como de la operación del mismo y puedan actuar de una forma eficiente para solucionar los diferentes problemas que se presentan en el proceso. Además tendrán una capacitación con placebo y se les entregará manuales de operación y mantenimiento respectivamente.

SECCION II

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Instrumentación industrial

La instrumentación industrial consta de un grupo de dispositivos que se utilizan para registrar, convertir, medir, controlar y transmitir variables de un proceso con el propósito de ayudar al operario en un procedimiento industrial.

Al hablar de instrumentación industrial se habla de sistemas de automatización, las cuales se componen de tres elementos: proceso, instrumentación y equipo de control como se ilustra en la Figura 1 y Figura 2.

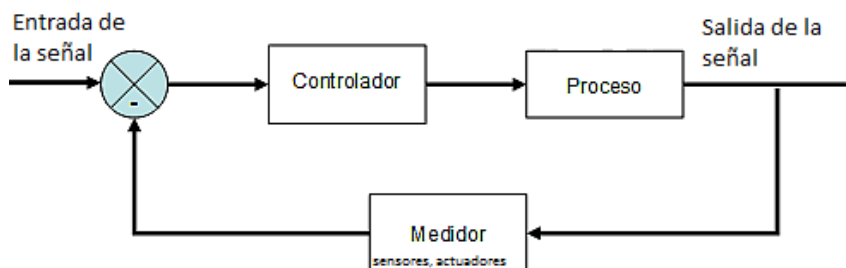


Figura 1 - Sistema de control y automatización analógico

Fuente: Ingeniería eléctrica y electrónica - F.N.I. - U.T.O

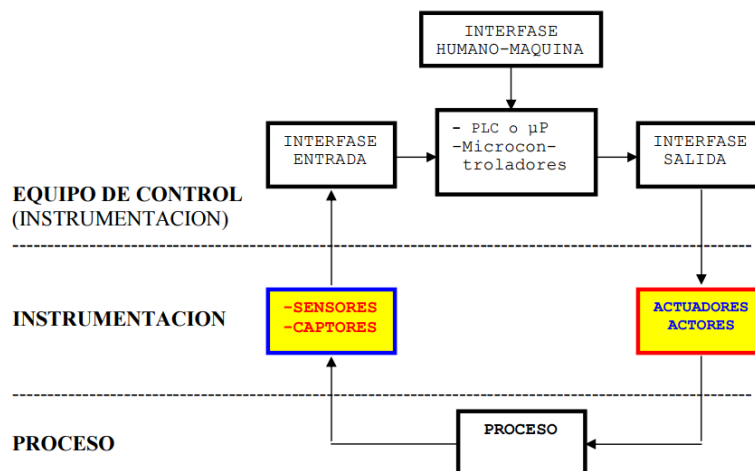


Figura 2 - Sistema de control y automatización digital

Fuente: Ingeniería eléctrica y electrónica - F.N.I. - U.T.O

El sistema de control que se va a utilizar en el presente proyecto corresponde a una automatización digital.

Los controladores tienen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D), a los cuales se los denomina como proporcional, integral, control proporcional integral derivativo, proporcional derivativo y como objetivo de este proyecto el control proporcional integral.

2.1.1.1. Tipos de control

A continuación en la Figura 3, se puede apreciar los diferentes tipos de control, cuando se ha producido un cambio brusco en la referencia establecida.

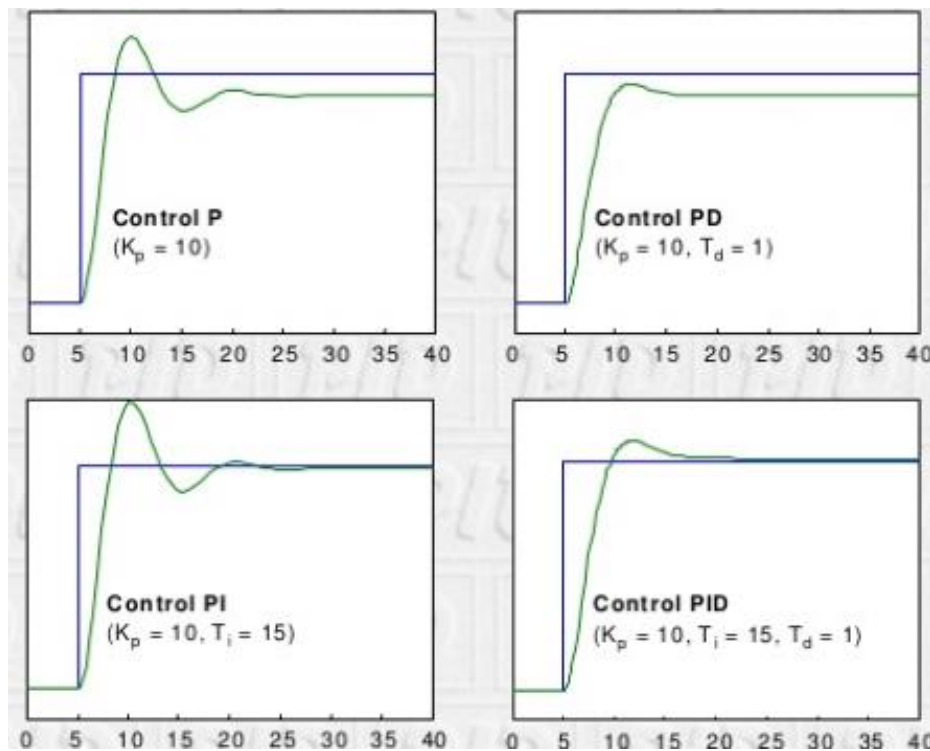


Figura 3 - Acciones de control

Fuente: UNED. (2007). Controladores PID

De acuerdo a los parámetros establecidos en la Figura 3, se puede observar en la Tabla 1 los diferentes comportamientos de las variables K_p , T_i y T_d .

Tabla 1 - Comportamientos de las variables K_p , T_i y T_d

	K_p aumenta	T_i disminuye	T_d aumenta
Estabilidad	Se reduce	Disminuye	Aumenta
Velocidad	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Error estacionario	No eliminado	Eliminado	No eliminado
Área de error	Se reduce	Disminuye hasta cierto punto	Se reduce
Perturbación control	Aumenta bruscamente	Aumenta gradualmente	Aumenta muy bruscamente
Frecuencia lazo	No afecta hasta cierto punto	Disminuye	Aumenta

Fuente: UNED. (2007). Controladores PID

De acuerdo a la información antes descrita se establece que la acción proporcional tiene el tiempo integral T_i a su máximo valor, el tiempo derivativo T_d a su mínimo valor y la ganancia aumenta hasta conseguir las características de respuestas deseadas. En la acción integral aunque la oscilación sea excesiva se reduce el T_i hasta anular el error. Por último en la acción derivativa se mantiene la ganancia y el tiempo integral, aumenta el T_d mediante una respuesta rápida y aumenta la ganancia si el caso lo amerita.

2.1.1.2. Control Proporcional - Integral

Para el estudio de este proyecto se va a realizar el enfoque en el control PI, el cual tiene el fin de eliminar la fiscalización de un usuario, ya que utiliza un mecanismo de control en lazo cerrado, el cual es sumamente utilizado a nivel industrial porque permite prever la diferencia entre una variable real frente a una variable deseada, al dejar regular presión, velocidad, flujo, temperatura, etc.

Si bien la acción proporcional tiene como desventaja que no puede eliminar el error, para compensar este inconveniente, varios controladores de procesos añaden una acción de control llamada acción integral, la cual permite eliminar el error, ya que en primera instancia actúa el regulador proporcional (instantáneamente), mientras que el integral actúa durante un intervalo de tiempo (tempo integral). En la Figura 4 se puede apreciar que la respuesta que tiene un regulador PI corresponde a la suma de las respuestas de un control proporcional P, que será instantánea a la detección de la señal de error, y con un cierto retardo entrará en acción el control integral I, que será el encargado de anular totalmente la señal de error.

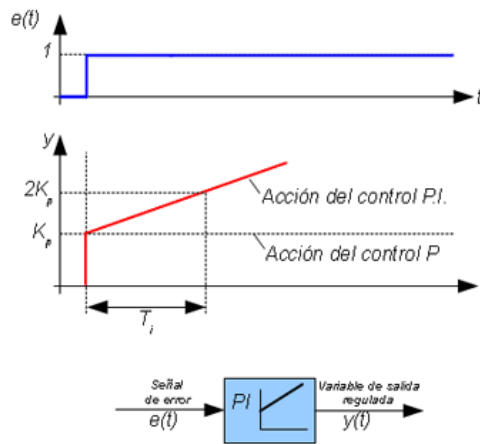


Figura 4 - Respuestas de un control PI

Fuente: Ingeniería eléctrica y electrónica - F.N.I. - U.T.O

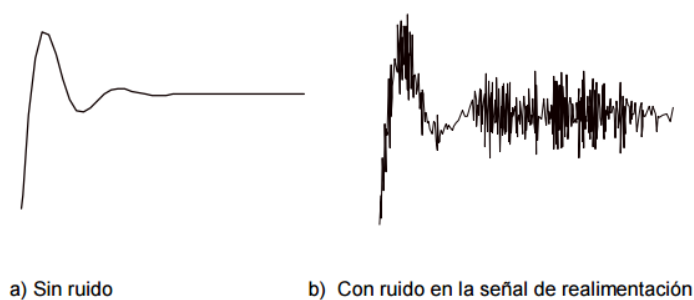
2.1.1.3. Elección del control PI

En primera instancia se pretendía trabajar con un control PID, pero se encontró que este tipo de control es susceptible al ruido, ya que si la señal de entrada posee ruido como se ilustra en la Figura 5, ya sea por el emisor, se debe considerar el filtrar la señal que se envía antes de llegar al controlador, caso contrario, por efecto de la acción derivativa, el controlador tiende a amplificar la señal de ruido como se detalla en la Figura 6.



Figura 5 - Ruido a la entrada de la señal

Fuente: Geocities.ws. (2014). Controladores y acciones de control.



a) Sin ruido

b) Con ruido en la señal de realimentación

Figura 6 - Salida del controlador PID

Fuente: Geocities.ws. (2014). Controladores y acciones de control.

Por lo antes descrito se decidió trabajar con el diseño de un control PI, debido a que este permite una corrección para compensar las perturbaciones y ayuda a mantener la variable controlada de acuerdo a la consigna o set point asignada como se puede apreciar en la Figura 7, además su diseño no presenta grandes complicaciones.

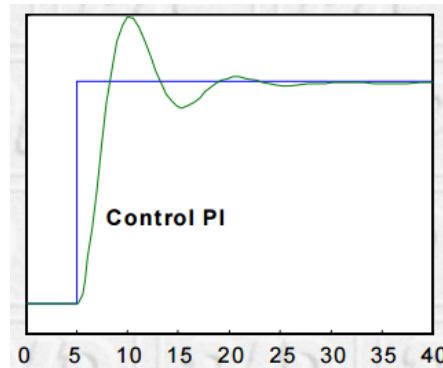


Figura 7 - Control PI

Fuente: UNED. (2007). Controladores PID

2.1.2. Elementos a utilizar

2.1.2.1. Motor

Un motor es una máquina, cuyo fin es transformar energía eléctrica en energía mecánica. Los motores se clasifican en: motores de corriente continua y motores de corriente alterna.

2.1.2.1.1. Motor de corriente continua

Los motores de corriente continua son muy utilizados en varios procesos cuando se requiere realizar un control preciso de la velocidad de un motor.

2.1.2.1.2. Motor de corriente alterna

Los motores de corriente alterna son muy utilizados a nivel industrial; para el presente proyecto se emplearon únicamente este tipo de motores.

2.1.2.1.2.1. Motor con jaula de ardilla

Los motores que posee la empresa Farmacid para la puesta en marcha del bombo de laqueado, son de corriente alterna con rotor de jaula de ardilla como se ve en la Figura 8. Este tipo de motores tienen como característica principal su forma, ya que tiene un cilindro

montado en un eje, el cual posee en su interior barras conductoras de cobre o aluminio y estos a su vez se encuentran conectados en sus extremos, de esta manera se cortocircuitan los anillos que dan forma a la jaula.



Figura 8 - Motor jaula de ardilla

Fuente: Grupo Solemeec (2017)

2.1.2.2. Sensor

Un sensor es un elemento que permite captar una magnitud química o física externa para luego transformarla en una magnitud eléctrica que sea entendible por el usuario. Las variables de instrumentación son distancia, aceleración, presión, temperatura, etc.; la temperatura es el objeto de estudio en este proyecto, en el cual el tipo de sensor que se va a utilizar es una PT 100.

2.1.2.2.1. PT 100

La PT 100 es un tipo específico de sensor RTD (detector de temperatura por resistencia), el cual se muestra en la Figura 9, este sensor de temperatura es muy utilizado a nivel industrial, cuya característica es que a medida que aumenta su temperatura aumenta su resistencia.

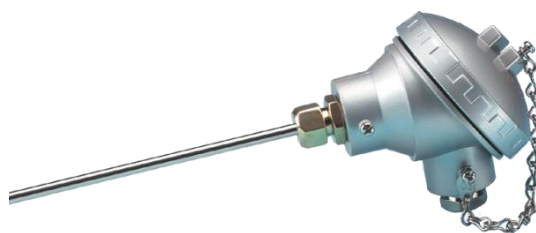


Figura 9 - Sensor PT 100

Fuente: Grupo Solemeec (2017)

2.1.2.2.2. Principio de funcionamiento

El funcionamiento de la PT100 se basa en el cambio de la resistencia de acuerdo a la variación en la temperatura. Este elemento consiste en un alambre delgado de platino bobinado (determina la variación de resistencia), cubierto por un material cerámico.

2.1.2.2.3. Ventajas del PT 100

Las PT 100 son muy utilizadas para trabajar en temperaturas que van desde -100° a 200° C., además este sensor puede ser ubicado a una distancia de hasta aproximadamente 30 metros con respecto al medidor, mediante la ayuda de un cable de cobre.

2.1.2.2.4. Conexión de la PT 100

Existen tres maneras para conectar una PT 100, el cual depende del número de hilos: dos, tres y cuatro hilos. La PT 100 que se empleó en este proyecto posee 3 hilos.

2.1.2.2.4.1. Conexión con tres hilos

La conexión más común a emplearse es la de 3 hilos, que se detalla en la Figura 10, la cual resuelve los problemas de error generados por cables.

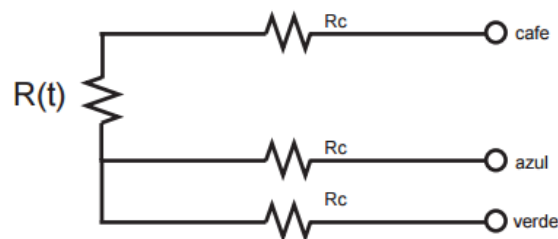


Figura 10 - Conexión a tres hilos

Fuente: Arian Control & Instrumentación

2.1.2.3. Contactor

Un contactor es un elemento electromecánico que sirve para manejar grandes cargas, el cual funciona gracias a la acción magnética de una bobina que atrae unas platinas, las mismas que cierran un circuito eléctrico.

2.1.2.3.1. Contactor AC3

El modelo de contactor empleado en este proyecto es el AC3, debido a que sirve para trabajar con cargas inductivas como motores, los cuales manejan grandes corrientes en el momento de arranque; en la Figura 11 se visualiza un ejemplo de este contactor.



Figura 11 - Contactor AC3
Fuente: Catálogo LS (2016)

Los contactores empleados en este proyecto son trifásicos, con bobinas de tensión de mando e interruptor automático que sirve para restablecer enlaces de paso de corriente.

2.1.2.4. Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia es un elemento utilizado en el control de velocidad de un motor de corriente alterna.

Los variadores de frecuencia utilizados en el presente proyecto tienen como característica su diseño, el cual permite su instalación en gabinetes, poseen filtros incorporados, incluido la función dormir/despertar del control PI. En la Figura 12 se exhibe la imagen del variador de frecuencia de marca Delta a utilizar en este proyecto.



Figura 12 - Variador de frecuencia
Fuente: Catálogo Delta (2016)

2.1.2.5. UPS – Sistema de alimentación ininterrumpida

Un sistema de alimentación ininterrumpida es aquel dispositivo que permite proteger la información que se procesa en una CPU contra los cortes de energía eléctrica. Para la implementación de este proyecto se utiliza el UPS que se muestra en la Figura 13, que permite regular el voltaje de salida y de sobrecorrientes.



Figura 13 - UPS
Fuente: Catálogo Ingelpro (2016)

2.1.2.6. Válvula de vapor diferencial

La válvula de vapor diferencial que se muestra en la Figura 14, es aquella que regula la cantidad de flujo de vapor mediante la apertura o cierre de un diafragma neumático.



Figura 14 - Válvula de vapor diferencial

Fuente: Catálogo Retena (2016)

La válvula de vapor diferencial a utilizar en este proyecto, maneja una presión máxima de 16 bares de presión, una temperatura de hasta 200° C y de 3 – 15 PSI de presión de aire.

2.1.2.7. Fuente de alimentación

Una fuente de alimentación es aquella en la cual ingresa tensión alterna y la transforma en corriente continua, según el valor deseado por el usuario.

En la Figura 15 se exhibe el módulo de poder de marca Delta adquirido en este proyecto, el cual tiene como características técnicas alimentación de 110-220 V, salida de 24 VDC / 5 A y montaje para riel DIN.



Figura 15 - Fuente de alimentación

Fuente: Catálogo Delta (2016)

2.1.2.8. Supervisor de voltaje

Un supervisor de voltaje es aquel que protege los elementos que están conectados a un circuito, de posibles fallas energéticas como: sobre tensión, sub tensión, fase perdida, etc. En este proyecto el supervisor de voltaje que se utilizó, se indica en la Figura 16, es trifásico, de marca siemens, el cual protege a los variadores de frecuencia instalados.



Figura 16 – Supervisor de voltaje

Fuente: Catálogo Siemens (2016)

2.1.2.9. Transductor

Un transductor es un dispositivo que transforma una magnitud física en otra. En la Figura 17 se puede ver el transductor que se utilizó en este proyecto, el cual permite transformar una señal analógica de entrada a una señal de salida neumática.



Figura 17 – Transductor para válvula de vapor

Fuente: Catálogo Siemens (2016)

2.1.2.10. Controlador lógico programable

Un controlador lógico programable o PLC es un dispositivo electrónico que permite al usuario controlar en tiempo real diferentes problemas de secuencias de equipos en diferentes procesos de tipo industrial mediante el ingreso de señales y salidas de otros.

2.1.2.10.1. PLC S7-1200

De acuerdo al manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009), el PLC S7-1200 brinda la capacidad y flexibilidad de controlar una amplia variedad de aparatos eléctricos para realizar un sin número de trabajos de sistematización. Las partes del PLC S7-1200 se muestran en la Figura 18.

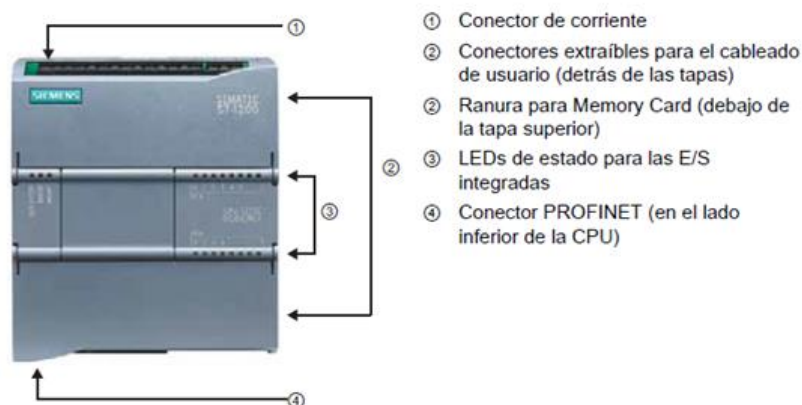


Figura 18 - Partes del PLC S7-1200

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

2.1.2.10.2. Módulos del dispositivo

En la Figura 19 se detallan varios de los módulos que se emplearon en la realización del proyecto en mención, como son los módulos de señales analógicas, de comunicación, la CPU, Signal Board, etc.

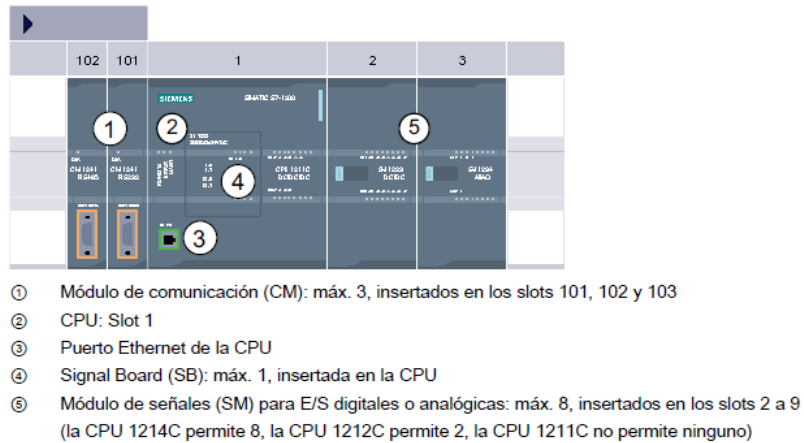


Figura 19 - Dispositivos del PLC

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

2.1.2.10.3. SIMATIC STEP 7 Basic

El SIMATIC STEP 7 Basic V11, es un sistema integrado, el cual está encaminado a tareas ya que es un editor intuitivo e inteligente, al mismo tiempo que permite realizar la configuración de red, programación y diagnóstico; este incluye WinCC Basic para el PLC S7-1200 y paneles Basic HMI.

2.1.2.10.3.1. Vista del portal

La Vista del Portal, que se muestra en la Figura 20, permite organizar los diferentes paneles de acuerdo con la función que se va a ejecutar, además suministra una vista funcional de las tareas del proyecto.



Vista del portal

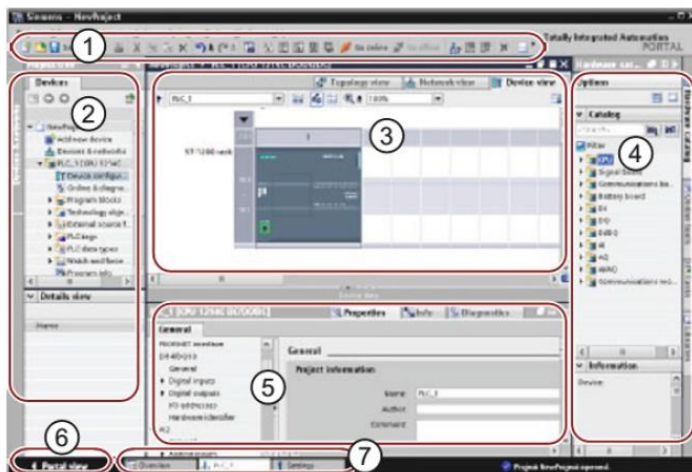
- ① Portales para las diferentes tareas
- ② Tareas del portal seleccionado
- ③ Panel de selección para la acción seleccionada
- ④ Cambia a la vista del proyecto

Figura 20 - Vistas del portal

Fuente: Cortés P. (2011). Material para la asignatura de programación de PLC.

2.1.2.10.3.2. Vista del proyecto

La vista del proyecto provee acceso a cada uno de los elementos del proyecto. A continuación en la Figura 21 se describen sus partes.



Vista del proyecto

- ① Menús y barra de herramientas
- ② Árbol del proyecto
- ③ Área de trabajo
- ④ Task Cards
- ⑤ Ventana de inspección
- ⑥ Cambia a la vista del portal
- ⑦ Barra del editor

Figura 21 - Vistas del proyecto

Fuente: Cortés P. (2011). Material para la asignatura de programación de PLC.

2.1.2.10.4. Características del PLC S7-1200

La principal característica del PLC S7-1200 es que es ideal para fiscalizar una gran variedad de aplicaciones debido al extenso juego de mandos, diseño compacto y configuración flexible, con un poderoso conjunto de instrucciones, los cuales permiten adaptarse a los requerimientos de aplicación del usuario, ya que deja controlar un sin número de elementos;

además este tipo de controlador es compacto y brinda soluciones de automatización discreta como se presenta en la Figura 22.



Figura 22 - Conjunto de módulos del PLC S7-1200

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

2.1.2.10.4.1. Características adicionales

Posee componentes desmontables que tienen todas las CPUs como los módulos de señales, communication boards y signal boards, que facilitan el mantenimiento y la puesta en marcha, los cuales se visualizan en la Figura 23; tiene un calendario y reloj de tiempo real, el cual funciona aun cuando la CPU está apagada.



Figura 23 - Componentes desmontables

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

2.1.2.10.5. CPU

El CPU es la parte más importante del PLC, ya que en su interior se encuentra un microcontrolador el cual ejecuta y lee el programa de usuario realizado por el programador.

En la Tabla 2 se visualiza las características de los dos modelos de CPU empleados en el presente proyecto.

Tabla 2 - Características de los CPU

S7 1200 CPU	CPU Digital I/O	CPU Analog IN	Power, Signal IN, Signal OUT
CPU 1212 C	8 IN – 6 OUT	2 IN (0 – 10 V)	CPU 1212C AC/DC/Relay
CPU 1214 C	14 IN – 10 OUT	2 IN (0 – 10 V)	CPU 1214C DC/DC/DC

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Guía de transición del S7-200 al S7-1200, (2009)

2.1.2.10.6. Entradas analógicas

En la Figura 24 se presenta las dos entradas analógicas, cuyas características son la tensión (unipolar) que va en el rango de 0 a 10V, con una resolución de 10 bits.



Figura 24 - Entradas analógicas

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

2.1.2.10.7. Memoria de usuario

El PLC S7-1200 posee memoria de usuario integrada, en la Figura 25 se indica varias de las áreas de memoria que tiene este dispositivo.

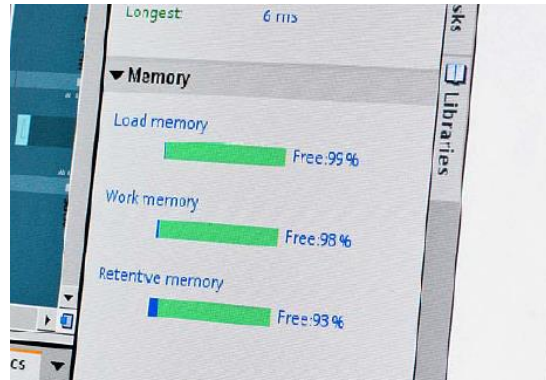


Figura 25 - Memoria de usuario

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

2.1.2.10.7.1. Memoria de carga

En el programa de usuario se utiliza la memoria de carga, datos y configuración. Este tipo de memoria posee un área de almacenamiento no volátil; además permite almacenar comentarios del programa al igual que símbolos de usuario.

2.1.2.10.7.2. Memoria de trabajo

La memoria de trabajo entra en operación mientras se ejecuta el programa de usuario, el cual posee un área de almacenamiento volátil para ciertos elementos del proyecto.

2.1.2.10.7.3. Memoria retentiva

La memoria retentiva se utiliza para “retener” una restringida cantidad de los valores de memoria de trabajo mientras ocurre una pérdida de potencia, al emplear un área de memoria no volátil.

2.1.2.10.8. Rendimiento

En cuanto al rendimiento, la CPU S7-1200 dispone de una fuente de alimentación (integrada), un microprocesador, y entradas / salidas, las mismas que, según la lógica de programación de usuario incluye operaciones matemáticas, al igual que comunicación con otros dispositivos, etc.

2.1.2.10.9. Módulos de señales

Con la utilización de los distintos módulos de señales, se puede incrementar la cantidad de entradas y salidas del controlador; los módulos digitales suministran canales digitales de E/S y los módulos analógicos suministran canales analógicos de E/S.

En este proyecto se utilizó dos módulos que contienen salidas analógicas, los cuales se presentan en la Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3 - Módulo de señal 1232 AQ

Módulos de señales	SM 1232 AQ
Salida analógica	AO 4 x 14 Bit ±10V DC o 0-20 mA

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

Tabla 4 - Módulo de señal 1234 AQ

Módulos de señales	SM 1234 AI / AQ
Entrada / Salida analógica	AI 4 x 13 Bit ± 10 V DC, ± 5 V DC, ± 2.5 V DC or 0-20 mA AO 2 x 14 Bit ±10 V DC or 0-20 mA

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

2.1.2.10.9.1. Signal board y communication board

En la Figura 26 se presenta un módulo en el que consta el signal board, el cual permite modificar la CPU sin afectar el panel, ya que suministran canales adicionales, tanto analógicos (o de temperatura) como digitales de E/S, y el communication board facilita una interfaz de comunicación extra.

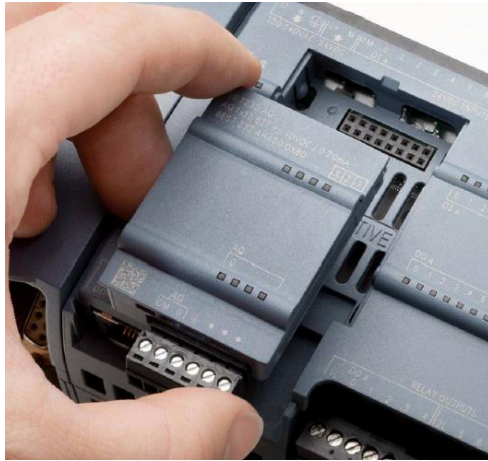


Figura 26 - Signal board y communication board

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

2.1.2.10.9.2. Módulo switch compacto

El módulo switch que se muestra en la Figura 27, permite configurar de una manera sencilla a una red de distribución uniforme o mixta, con el propósito de disminuir la cantidad de cableado con la máxima flexibilidad en red.



Figura 27 - Módulo switch

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

Este conmutador al poseer 4 puertos administrados, le permite enlazar hasta 3 dispositivos extras de Ethernet hacia la estación de control S7-1200.

2.1.2.10.10. Control PID del PLC S7 1200

El control PID que se visualiza en la Figura 28, es utilizado en el programa de usuario del PLC S7 1200 con el propósito de manejar las características de autoajuste, con el fin de regular el período de trabajo de un contactor de estado sólido y controlar la posición de un actuador o válvula.

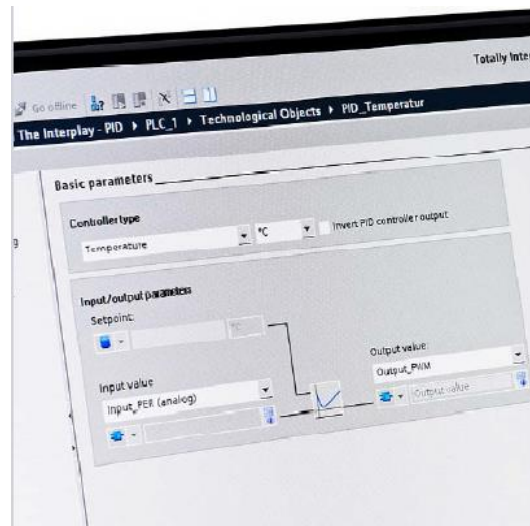


Figura 28 - Control PID

Fuente: Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

2.1.2.11. Pantalla táctil HMI

La pantalla táctil HMI permite obtener e indicar los datos de un proceso en tiempo real, los cuales se muestran como texto, gráficos o números, los mismos que son fáciles de interpretar por el usuario. De igual manera este tipo de pantallas permite realizar ajustes de acuerdo a las condiciones y procesos de trabajo.

En la Figura 29 se visualiza la pantalla táctil HMI a utilizar en el presente proyecto, la cual es de marca Siemens, modelo KTP 700.

Este dispositivo tiene como características principales, compatibilidad con el PLC S7 1200, es una pantalla de 7 pulgadas, tiene 12MB de memoria de usuario, 24 VDC de tensión de alimentación y una interfaz Ethernet.



Figura 29 - Pantalla táctil HMI

Fuente: Catálogo Siemens (2016)

2.1.3. Comunicación industrial

Los PLC S7-1200 ofrecen las siguientes opciones de comunicación: PROFINET, punto a Punto (PtP) Communication, Universal Serial Interface (USS), Modbus RTU (Modbus TCP/IP en proceso), Comunicación Telecontrol; de todos estos, el tipo de comunicación a utilizar en este proyecto es el PROFINET.

2.1.3.1. PROFINET

PROFINET es un protocolo utilizado en redes industriales cimentado en Ethernet, el cual adapta el hardware empleado en los protocolos de Ethernet, según las necesidades para la automatización de una industria, con lo cual tiende a acrecentar el rendimiento de una planta.

2.1.3.1.1. Características de PROFINET

PROFINET tiene varias características importantes, una de ellas es que brinda funcionamiento a tiempo real para la información de E/S, utiliza un sistema conocido como cliente – servidor, grandes velocidades de transmisión (10-100-1000 Mps), posee una comunicación rápida, fácil y flexible, entre otras características.

2.1.3.2. Ethernet industrial

El Ethernet industrial conocido con el estándar IEEE 802.3, permite crear redes de gran extensión y sumamente eficaces.

2.1.4. Máquina de laqueado

El bombo de laqueado de comprimidos mostrado en la Figura 30, es una máquina cuya estructura está hecha de acero inoxidable, el cual está totalmente soldado con el fin de facilitar la limpieza del mismo.



Figura 30 - Máquina de laqueado ACCELA COTA

Fuente: Farmacid S.A (2017)

El bombo de laqueado ACCELA COTA posee un brazo extraíble hacia al frente como se ilustra en la Figura 31, en donde se encuentran montadas las pistolas del atomizado, con lo cual permite un acceso fácil a las mismas.



Figura 31 - Brazo extraíble

Fuente: Farmacid S.A (2017)

La máquina de laqueado utiliza fundamentalmente una cámara, formada por un tambor perforado giratorio, el cual es muy útil para los recubrimientos solventes y acuosos; como se indica en la Figura 32, los comprimidos son colocados dentro de esta cámara, la cual gira a una determinada velocidad y se mantiene a una temperatura constante con el fin de que la laca se adhiera con facilidad al producto.



Figura 32 - Rociado de los comprimidos
Fuente: Farmacid S.A (2017)

Esta máquina de laqueado permite colocar una capa de laca a las pastillas para que ganen resistencia mecánica y conserve sus propiedades químicas.

2.1.4.1. Recubrimiento de comprimidos

En una industria farmacéutica es importante cubrir con una capa de laca a los comprimidos con el propósito de mejorar su apariencia y la resistencia mecánica de sus ingredientes a la exposición de humedad, aire y luz, además facilita su identificación, manejo, empaquetado y mejora su sabor para el usuario.

Como paciente, al estar las pastillas con un recubrimiento de laca, esta ayuda a facilitar la ingestión del producto, enmascara el mal sabor u olor desagradable y provoca una cantidad menor de irritación gastrointestinal.

2.2. Marco Conceptual

- **Contactador**

Un contactor es un dispositivo electromecánico muy utilizado a nivel industrial para realizar mandos a distancias ya que permite abrir o cerrar circuitos eléctricos.

- **Control PID**

Un control PID (Proporcional Integrativo Derivativo) es un dispositivo de control por retroalimentación de bucle cerrado, utilizado a nivel industrial para regular flujo, velocidad, temperatura, presión, etc.

- **CPU**

La CPU o Unidad Central de Procesamiento, es la parte fundamental de un computador, ya que controla todas las instrucciones que proceden del software y hardware.

- **Electroválvula**

Una electroválvula o válvula solenoide es un dispositivo creado para controlar el paso de un fluido en un circuito

- **Ethernet**

El estándar denominado como Ethernet, hace referencia a la parte física (hardware) y a la parte eléctrica con la que trabaja una red.

- **Fuente de voltaje**

Una fuente de voltaje es un dispositivo que transforma el voltaje alterno de las redes eléctricas en una o varias tensiones que son prácticamente continuas, las cuales alimentan a los diferentes circuitos del dispositivo electrónico al cual se lo conecta.

- **Hardware**

Se define como hardware todos los dispositivos que conforman los componentes físicos de un computador o sistema informático, los cuales son indispensables para que el equipo trabaje sin complicaciones.

- **Motor asincrónico**

El motor asíncrono o de inducción, es un motor eléctrico de corriente alterna el cual funciona debido a la operación conjunta del campo magnético giratorio y la corriente inducida sobre el rotor.

- **Motor trifásico**

Un motor trifásico es una máquina eléctrica cuyo fin es el de convertir energía eléctrica en energía mecánica.

- **Motorreductor**

Un motorreductor es un elemento mecánico, necesario para el accionamiento de toda clase de máquinas industriales, las cuales necesitan disminuir su velocidad de una manera constante, eficiente y principalmente segura.

- **PLC (Controlador lógico Programable)**

El PLC es un dispositivo electrónico muy utilizado en automatización industrial, el cual ha sido creado con el fin de programar en lenguaje no informático y controlar procesos secuenciales en tiempo real; con lo cual permite aumentar la confiabilidad de los equipos y ahorrar costos en mantenimiento.

- **PT 100**

Los sensores PT100 son sensores de temperatura, cuya característica fundamental es que está fabricado con platino el cual tiene una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0 °C.

- **Sensor de presión de aire comprimido**

Es aquel que dispone de una señal discreta que varía su estado de acuerdo a un rango de presión de aire aplicado al sensor.

- **Señal analógica**

Una señal analógica es aquella señal que puede tomar distintos valores durante un intervalo de tiempo.

- **Señal digital**

Una señal digital es aquella señal que puede tomar ciertos valores discretos o estados (0 y 1) en un período de tiempo.

- **Serpentín**

El serpentín es un conjunto de tuberías que tienen alrededor álabes, los que tienen como objetivo transferir el calor del líquido que circula por dentro de los mismos, hacia el exterior.

- **Set Point**

El set point es un valor predeterminado por el usuario para establecer un punto de referencia en el control proporcional integral, en el cual debe mantener la dinámica de la variable del proceso.

- **Signal Board**

Un signal board es un dispositivo que permite ampliar en la parte frontal de cualquier CPU los canales digitales y analógicos de E/S sin afectar el tamaño físico del controlador.

- **Software**

Se define como software al conjunto de instrucciones de varios programas, reglas informáticas e instrucciones, los cuales deben cumplir una función o tarea específica.

- **Supervisor de voltaje**

Un supervisor de voltaje es un dispositivo, cuyo objetivo es resguardar los diferentes aparatos eléctricos de sobre voltajes ya que vigila la energía eléctrica de un módulo electrónico conectado a este.

- **Transductor**

Un transductor es aquel dispositivo que recepta energía de un tipo y la convierte en una diferente magnitud física.

- **UPS**

Un UPS (Uninterrumpible Power Supply) es un dispositivo estático el cual es una fuente de alimentación ininterrumpible, limpia y estable, que entra en funcionamiento cuando existe un corte o baja de energía, el mismo que funciona con un conjunto de baterías y un estabilizador de voltaje.

- **Válvula proporcional**

Una válvula proporcional es aquella que regula las variables que se encuentran a la salida en forma proporcional al valor de voltaje de la entrada.

- **Variador de frecuencia**

Un variador de frecuencia es un convertidor de energía utilizado para controlar y variar la velocidad rotacional de un motor.

- **Visualizadores (pantallas táctiles)**

Las pantallas táctiles de la familia SIMATIC HMI permiten establecer una comunicación Hombre-Máquina más completa, modernas funciones de manejo y visualización asociadas con características tales como robustez, estabilidad y simplicidad.

SECCION III

3.1. Metodología

El proceso investigativo que se va a emplear en este proyecto es el método experimental de campo.

La empresa Farmacid en su afán de complementar su producción de fármacos en la industria ecuatoriana, en especial de comprimidos que se utilizan en el consumo humano, se enfoca en la calidad y en especial cuidado del proceso requerido y así obtener su producto final; de acuerdo a esto se generó una hipótesis basada en el proceso de laqueado de pastillas, en donde se van a manipular variables, como temperatura, velocidad, caudal entre otras.

Una vez elaborado el comprimido este requiere que se coloque una base de laca con el propósito que el producto adquiera resistencia mecánica y conserve sus propiedades químicas ante agentes externos, para este propósito se requiere de una máquina que en la industria farmacéutica se conoce como bombo de laqueado.

La empresa Farmacid en la necesidad de su producción se vio en la obligación de adquirir un segundo bombo, el cual debe cumplir con los requerimientos de la industria farmacéutica ecuatoriana y los estándares de calidad requeridos por los clientes de Farmacid, tanto en la estructura de la máquina como en el control eléctrico.

La estructura de la máquina del bombo de laqueado debe ser en su totalidad en acero inoxidable de alto cromo, como 316L, 316 y 304, los cuales son costosos y requieren un tratamiento especial para ser soldados, esto encarece la elaboración de la estructura adicional, además el espesor de los componentes deben ser lo suficientemente robustos con el fin de soportar las 900 libras de la capacidad del lote.

El control eléctrico debe cumplir condiciones de presión y tener especial cuidado en la selección de los sensores y ubicación de los mismos, ya que las lacas empleadas en el proceso son de base alcohólica de fácil combustión.

Un equipo nuevo con las garantías y asesoramiento técnico que cumpla los requisitos mencionados para la capacidad de 900 libras, tranquilamente rodea los trescientos mil dólares en la marca ACCELA COTA, este valor es una inversión muy fuerte con la que no cuenta la empresa en mención.

En vista de la necesidad el grupo financiero de la empresa Farmacid, analizan la mejor opción y optan por adquirir una máquina de segunda mano que se dio de baja en el exterior.

Se procede con la compra del bombo de laqueado, adicional a esto se hacen los tramites de exportación al país, la inversión de esta adquisición rodea los treinta mil dólares un valor inferior al de una máquina nueva.

Una vez en el país el grupo de ingenieros de mantenimiento de la empresa Farmacid deciden contratar al Grupo Ingenieril Solemeec, especialistas en maquinaria farmacéutica para en conjunto realizar un levantamiento técnico del estado del equipo a fin de obtener los siguientes resultados:

- ❖ El equipo tiene una estructura de acero inoxidable con doble camisa la cual evita transferencias de calor con el exterior.
- ❖ Tiene un motor principal que hace girar al bombo, este tiene una capacidad de 5HP de alto torque con un motorreductor y dos catalinas unidas por una cadena, con el fin de disminuir la velocidad y aumentar el torque y así mover una capacidad máxima de 900 libras por lote.
- El driver que dispone la máquina es un sistema obsoleto compuesto por IJBT y un conjunto de capacitores.

Debido a que la máquina va a operar 24 horas continuas no existe la garantía que los dispositivos electrónicos funcionen al 100 por ciento de su capacidad y presenten algún tipo de falla durante el proceso.

Con el fin de remplazar este sistema se colocará un variador de frecuencia y debido a que es un motor de alto torque se sobre dimensionará la capacidad del variador de frecuencia.

- ❖ Tiene una bomba que impulsa la laca hacia las pistolas para ser pulverizada. Esta bomba tiene como máquina motriz un motor de corriente continua y el cual dispone de un driver que controla su velocidad, el mismo que al igual que de la mayor parte de sus componentes se encuentran quemados.
- El driver tiene condiciones especiales ya que se debe manejar voltaje continuo de 90V y una corriente de 30 Amperios. Como se desea bajar estos parámetros, se debe controlar con transistores de potencia, los mismos que se deben importar y

en caso de producirse un daño va a provocar que el equipo se detenga, esto puede ocasionar que el lote de comprimidos se pierda en su totalidad y por el hecho de no ser dispositivos comunes en el mercado se dificulta su mantenimiento con lo cual se detiene la máquina por largos períodos.

Para evitar esto, se reemplazará el motor con uno que tenga las mismas revoluciones y que sea trifásico jaula de ardilla de la misma potencia. Adicional a esto se debe hacer adaptaciones mecánicas; como controlador de este motor se usará un variador de frecuencia con la robustez que la industria lo requiera.

La empresa Farmacid en sus sistemas de calentamiento dispone de una red de vapor impulsada por un caldero. En el calentamiento del bombo se usa un serpentín y una turbina con el fin de impulsar aire por medio del serpentín y así calentar el aire y la cámara del bombo.

La línea de vapor previamente instalada consta de un serpentín de $\frac{3}{4}$ de pulgada la cual funciona como radiador mediante unos álabes que permiten transmitir el calor generado por el vapor que circula por el mismo, este elemento conjuntamente con una turbina que impulsa aire a través de una cámara hacia el serpentín y así obtener aire caliente, de esta manera se podrá calentar el producto dentro del bombo.

El radiador está hecho de un conjunto de materiales metálicos, los mismos que producen una histéresis de temperatura; es decir que tiene la tendencia de aumentar su temperatura por un determinado período de tiempo, a pesar que ya no exista la fuente de calor, en este caso vapor de agua.

En el análisis técnico realizado para controlar y mantener la temperatura constante mediante el uso del serpentín y de la turbina de aire se debe realizar las siguientes instalaciones.

- ❖ Colocar una válvula de vapor proporcional con el fin de controlar el caudal y presión de vapor que circula por el serpentín y de esta forma controlar la histéresis de temperatura.
- ❖ Colocar un variador de frecuencia, el cual permita controlar la velocidad del motor y de esta forma el caudal de aire suministrado por la turbina, el cual es inyectado y calentado, con lo cual se calienta el producto dentro de la cámara del bombo.
- ❖ Tanto la válvula proporcional como el variador de frecuencia, que controla la turbina de aire, deben ser operados por un sistema PI (proporcional, integral) debido a que la

dinámica del proceso requiere que la temperatura se mantenga constante por este motivo es ideal que se controle con este tipo de sistemas de control.

El control PI que requiere el sistema de calentamiento de la cámara del bombo, debe permitir que la dinámica de la temperatura sea constante en cada una de los comprimidos y para que esto sea posible, se deben analizar los diferentes factores externos que actúan directamente en el comprimido y que ocasionan la variación de su temperatura. Dentro del análisis técnico efectuado, se revisó la estructura de la cámara del bombo, donde se alojan las pastillas, en el cual se encontró como principales agentes externos a la laca pulverizada encima de los comprimidos, la extracción del polvo dentro de la cámara, rozamiento producido por el movimiento giratorio de la cámara del bombo y pérdidas de calor por fugas en la estructura del bombo. A continuación se detallan las razones por las cuales los agentes externos causan pérdida de temperatura a los comprimidos.

- ❖ La laca pulverizada sobre los comprimidos, se aplica a temperatura ambiente, es decir a un promedio de 18 a 22 grados centígrados, los comprimidos se encuentran entre 40 a 45 grados centígrados; el delta de temperatura que se forma, ocasiona una compensación de temperatura en las pastillas mucho menor que la temperatura necesaria mencionada.
- ❖ La extracción del polvo dentro de la cámara del bombo es suministrada por un equipo colector de polvos de alto rendimiento. Este equipo funciona mediante la generación de vacío de manera que permite extraer el polvo que se genera por el movimiento de las pastillas dentro de la cámara, si la succión es excesiva extrae el aire caliente suministrado a la cámara del bombo para el calentamiento y no se produce la adecuada transferencia de calor ya que disminuye la temperatura necesaria de los comprimidos a fin de que la laca se adhiera de una manera uniforme.
- ❖ La cámara del bombo de laqueado se mantiene en un giro constante, el cual permite mezclar las pastillas uniformemente y que todas estas reciban la misma cantidad de laca; el movimiento continuo de las pastillas ocasiona que se produzca transferencia de calor de los comprimidos hacia las paredes de la cámara del bombo y disminuya la temperatura necesaria y así lograr uniformidad del laqueado en las pastillas.

Por estos motivos el control PI debe cumplir las siguientes condiciones a fin de compensar los agentes externos antes mencionados.

- ❖ El punto de configuración (setpoint) debe modificarse durante todo el proceso y de esta manera compensar las variaciones de temperatura a producirse por agentes externos.
- ❖ El sensor de temperatura PT100 debe ser colocado en un punto estratégico para que pueda medir con facilidad el cambio de temperatura.
- ❖ El serpentín debe trabajar a su máxima capacidad, con esto podrá alcanzar un valor muy cercano a la del set point, la cual coloca el operador, al igual que la turbina que suministra aire, la misma que calienta la cámara del bombo.
- ❖ Se debe activar la turbina a su máxima capacidad y cortar el paso de vapor, de este modo se enfría el radiador en caso de que se sobrepase la temperatura deseada de una forma excesiva.
- ❖ Con el fin de mantener la temperatura debe trabajar de una forma proporcional tanto la válvula de vapor como el variador de frecuencia de la turbina de aire.
- ❖ Se debe indicar en un HMI el set point ingresado por el Operador y la temperatura real del sistema, así como el comportamiento de las dos variables con respecto al tiempo.

Debido a la complejidad del control PI se analizaron varias opciones para la adquisición de los componentes, entre las condiciones que se determinaron se encuentra garantías, marcas, tiempo de funcionamiento, facilidades de comunicación, voltajes de alimentación e inversión económica.

Las garantías de los equipos deben ser cubiertas en su totalidad en caso de daños externos como descargas atmosféricas, daños de fábricas y capacitación en la programación y asesoría técnica. El Grupo Ingenieril Solemtec tiene representación de varias marcas en la línea de automatización y por el motivo de garantías se decidió usar Siemens, LS y Delta.

Para este proyecto se optó por utilizar equipos de marca Siemens, como es el caso de los PLC's y HMI, ya que el Grupo Ingenieril Solemtec tiene asesoría técnica con esta marca.

No es viable un control discreto para este sistema porque al cortarse el vapor que circula por el serpentín de una forma tajante y después abrirlo en su totalidad, ocasiona fuertes golpes de ariete, que con el tiempo rompen al serpentín lo cual ocasiona fugas que pueden traer fatales accidentes y pérdida de equipos. Además, no permite mantener la temperatura de una forma constante, siempre va a existir variación en la temperatura, ya que no se puede controlar la

histéresis del serpentín, los componentes electromecánicos se desgastan con mayor facilidad y requieren mayor mantenimiento.

Cada resultado de los experimentos serán supervisados por el departamento de control de calidad de la empresa Farmacid con el fin de llegar a los estándares de calidad establecidos por ellos.

3.2. Propuesta

3.2.1. Diseño de hardware

3.2.1.1. Control del bombo de laqueado

La máquina Accela Cota posee un conjunto de procesos que interactúan en armonía para obtener el lacado de comprimidos ideal, y de esta manera cumplir con los requerimientos de la empresa usuaria, en este caso es Farmacid. Los subprocesos que tiene el bombo de laqueado son los siguientes:

- ❖ Control de velocidad de la cámara del bombo.
- ❖ Control de temperatura continuo de la cámara del bombo.
- ❖ Control de la succión de Polvos.
- ❖ Control de la laca de pulverizado.

En la Figura 32 se aprecia el diagrama de bloques del proceso utilizado para el control del bombo de laqueado Accela Cota.

3.2.1.2. Control de velocidad del bombo

En este subproceso, para el control de velocidad se emplean diferentes elementos electrónicos con el fin de controlar el motor eléctrico que mueve la cámara y un conjunto de condiciones impuestas por el operario en el trayecto de la ejecución del proceso, el mismo que se puede observar en el diagrama de bloques de la Figura 34.

3.2.1.2.1. Modo manual

Cuando el selector de tres posiciones se encuentra en manual, el motor eléctrico del bombo no se mueve de acuerdo a la velocidad impuesta por el operario, se habilita la opción de

descargar de comprimidos dentro de la cámara de una forma rápida al mover la perrilla de inversión de giro de forma manual.

El variador de frecuencia funciona en conjunto con las condiciones de frecuencia fija y en reversa emitidas por el PLC's.

3.2.1.2.2. Modo automático

Cuando el selector de tres posiciones se encuentra en automático, el motor eléctrico del bombo se mueve de acuerdo a la velocidad impuesta por el operario, entre el rango de 0 a 8,5 rpm de revoluciones de la cámara del bombo y tiene dos botones uno de puesta en marcha y otro para el paro de la máquina.

El variador de frecuencia funciona en conjunto con las condiciones analógicas emitidas por el PLC's así como el run del driver.

3.2.1.3. Control de temperatura de la cámara del bombo de laqueado

En el presente proyecto se decidió trabajar con el control PI, debido a que este permite una corrección para compensar las perturbaciones existentes a la entrada del circuito, con lo cual ayuda a mantener la variable controlada de acuerdo a la consigna o set point asignada.

Para este proceso se ha colocado el sistema en el tablero de control principal junto a la manejadora a fin de realizar el intercambio de calor, ya que estos sistemas pueden ser afectados por pequeños ruidos.

En la Figura 35, se indica el esquema del control de temperatura de la cámara del bombo de laqueado, en el cual se explica el funcionamiento del sistema PI de acuerdo al sensor PT 100.

3.2.1.4. Control de succión de polvos

El diagrama de bloques que se muestra en la Figura 36, explica el funcionamiento del subproceso de control de succión de polvos.

En este subproceso, para el control de velocidad se emplean diferentes elementos electrónicos, como es el caso del motor eléctrico, el mismo que mueve la turbina del

acumulador de polvos mediante un conjunto de condiciones impuestas por el operario en el trayecto de la ejecución del proceso

3.2.1.4.1. Control de velocidad del colector de polvos en manual.

Cuando el selector de tres posiciones se encuentra en manual, el motor eléctrico del colector de polvos no se mueve, ya que la máquina se mantiene detenida para retirar el producto y posiblemente realizar actividades de limpieza

El variador de frecuencia no funciona, ya que el run emitido por el PLC's se encuentra apagado.

3.2.1.4.2. Control de velocidad del colector de polvos en automático.

Cuando el selector de tres posiciones se encuentra en automático, el motor eléctrico del acumulador de polvo se mueve de acuerdo a la velocidad impuesta por el operario, entre el rango de 0 a 100 por ciento de la velocidad máxima y tiene dos botones uno de puesta en marcha y otro utilizado en el paro de la máquina.

El variador de frecuencia funciona en conjunto con las condiciones analógicas emitidas por el PLC's así como el run del driver.

3.2.1.5. Control de laca pulverizada

En el subproceso del control de velocidad se emplean diferentes elementos electrónicos a fin de controlar el motor eléctrico que mueve la bomba de inyección de laca mediante un conjunto de condiciones impuestas por el operario en el trayecto de la ejecución del proceso, como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 37.

3.2.1.5.1. Control de velocidad de la bomba de inyección en manual.

Cuando el selector de tres posiciones se encuentra en manual, el motor eléctrico de la bomba de inyección no se mueve, ya que la máquina se mantiene detenida para retirar el producto y posiblemente realizar actividades de limpieza

El variador de frecuencia no funciona, ya que el run emitido por el PLC's se encuentra apagado.

3.2.1.5.2. Control de velocidad de la bomba de inyección en automático.

Cuando el selector de tres posiciones se encuentra en automático, y se presiona el botón digital de marcha, el motor eléctrico de la bomba de inyección se mueve después de una secuencia y de esta manera sobre guardar al lote ante el goteo de laca, la secuencia es la siguiente:

- ❖ Se activa la electroválvula de ingreso de aire de pulverización con el fin de desintegrar cualquier presencia de laca en una fuga existente en las pistolas.
- ❖ Como segunda etapa se activa la electroválvula para abrir las agujas que dan paso a la mezcla aire y laca.
- ❖ Subsiguientemente se enciende la electroválvula que activa la válvula neumática la cual permite el paso de la laca desde la bomba a las pistolas.
- ❖ Como último se activa la bomba al porcentaje establecido entre 0 y 100 por ciento de la velocidad máxima.

Cada intervalo tiene un retraso de 5 segundos antes de iniciar la siguiente secuencia. Si se desea detener el proceso se debe presionar el botón digital de paro en el panel HMI.

El variador de frecuencia funciona en conjunto con las condiciones analógicas emitidas por el PLC's así como el run del driver.

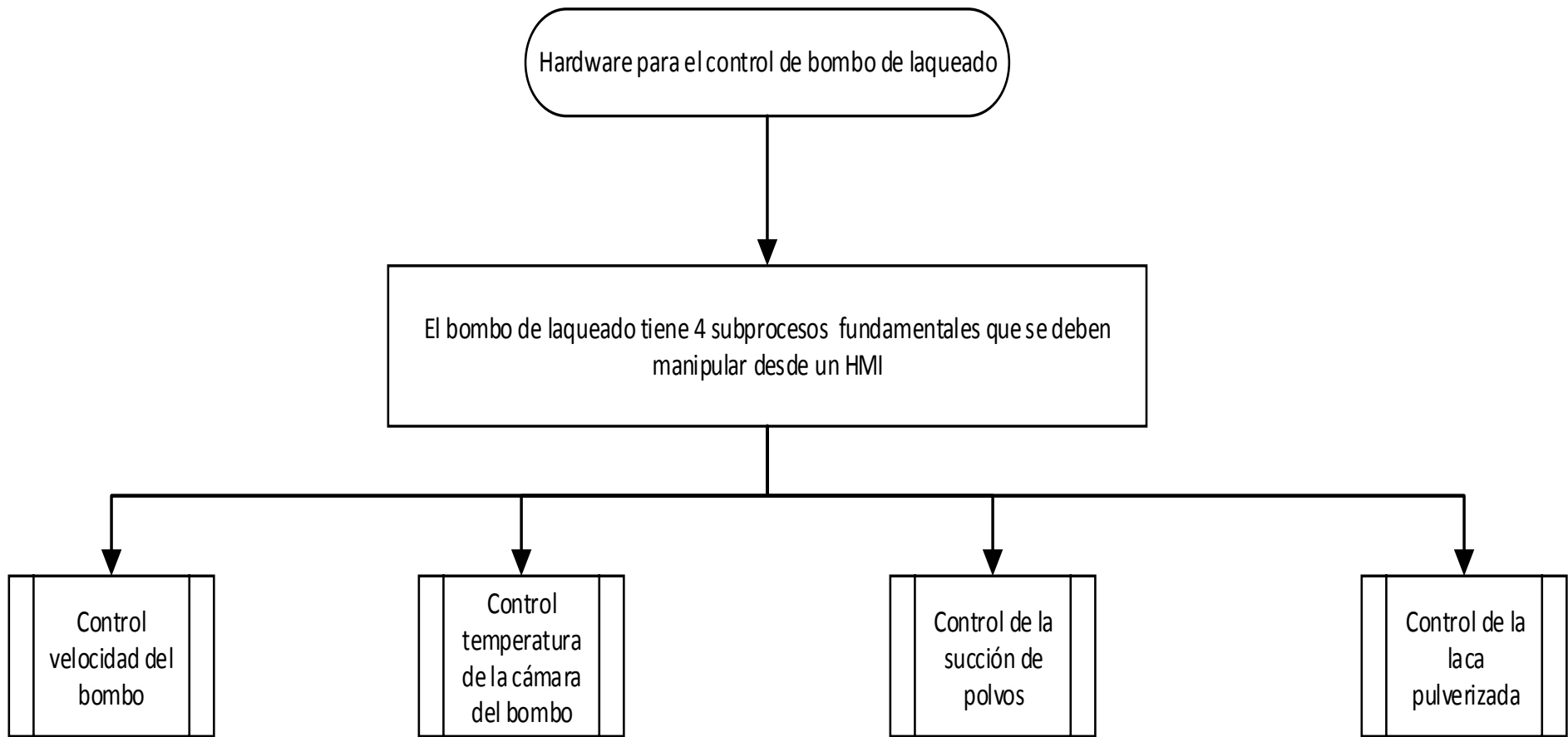


Figura 33 - Control del bombo de laqueado.

Fuente: Autora (2017)

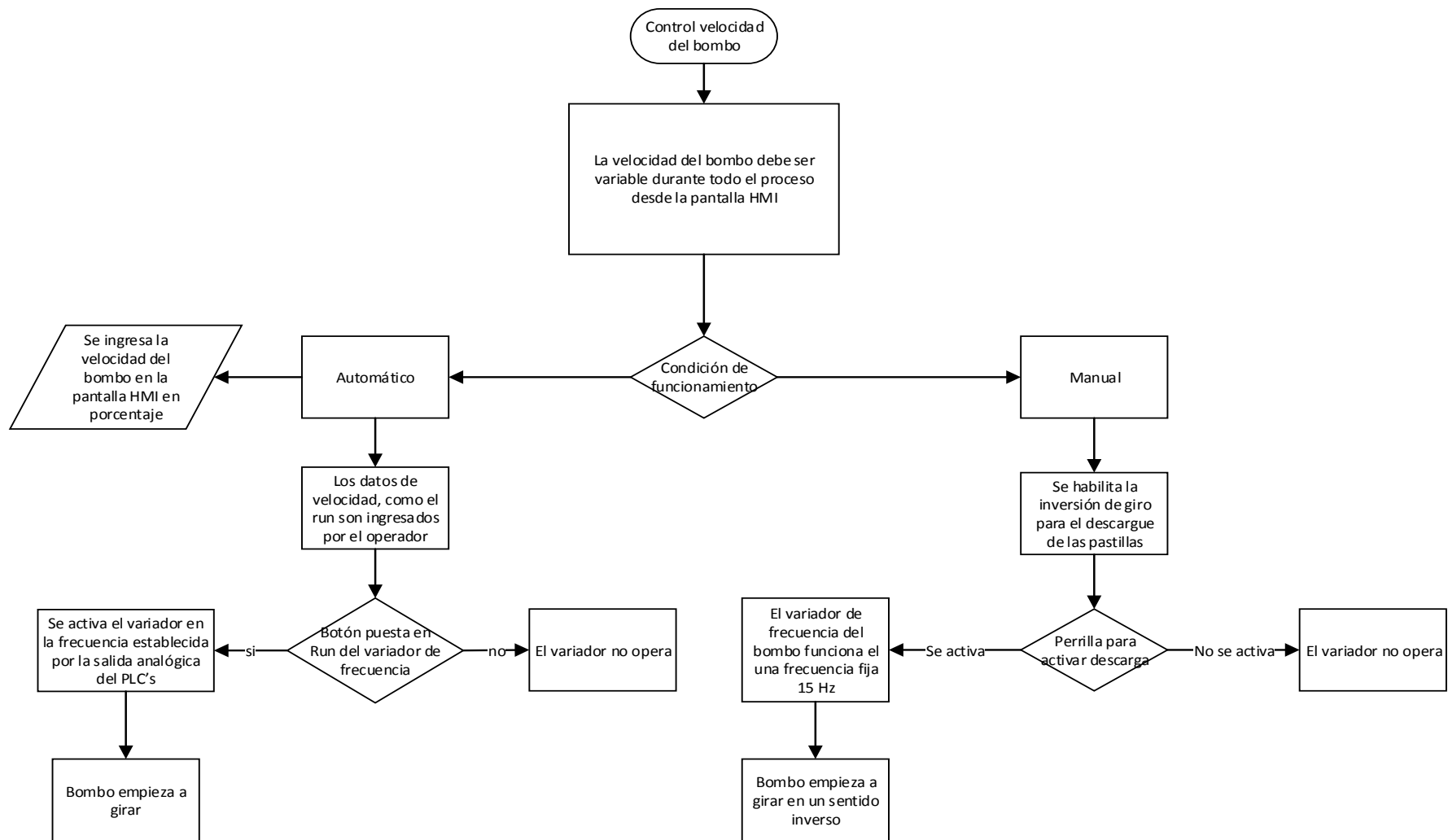


Figura 34 - Control de velocidad del bombo de laqueado

Fuente: Autora (2017)

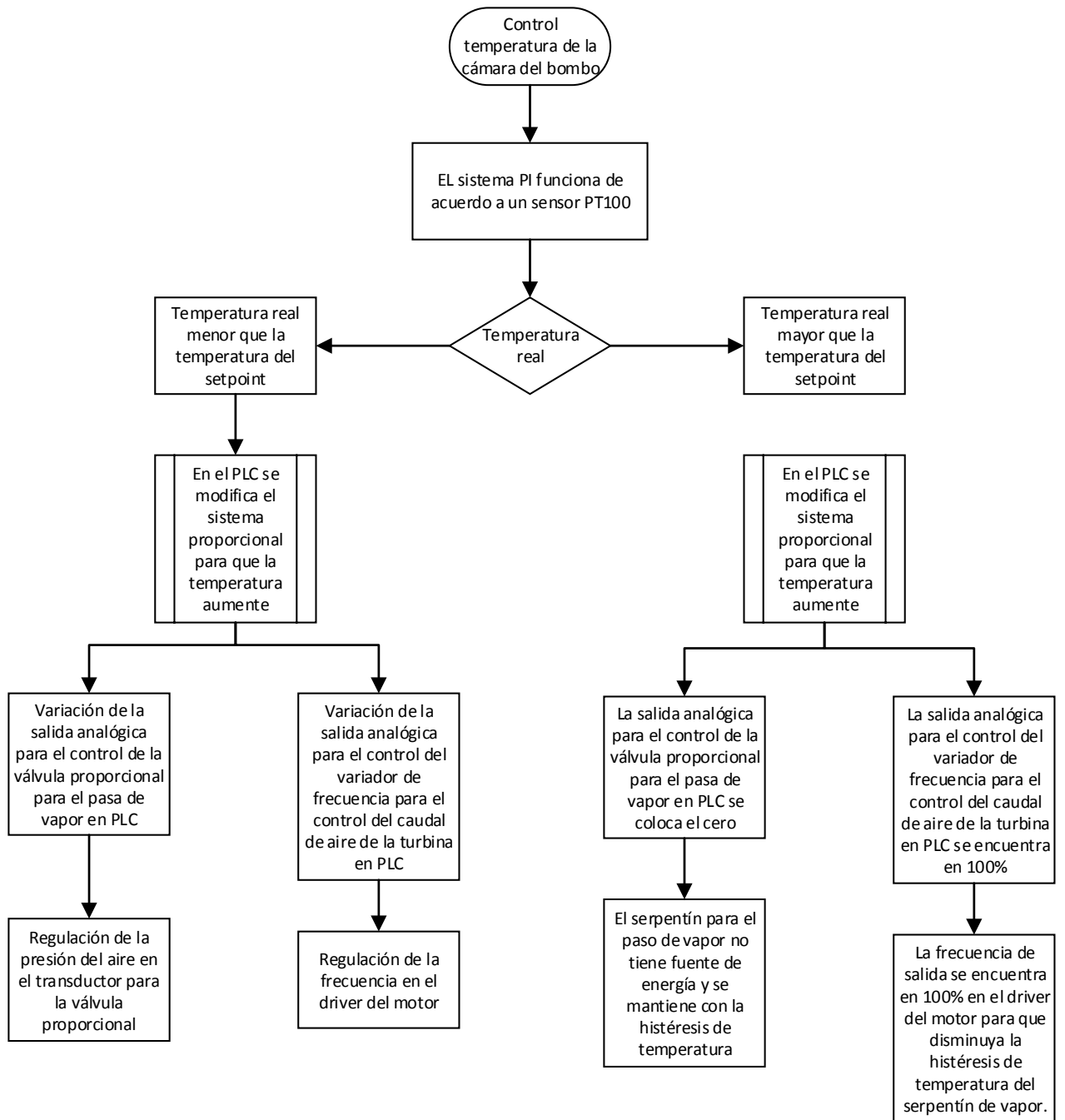


Figura 35 – Control de temperatura de la cámara del bombo de laqueado

Fuente: Autora (2017)

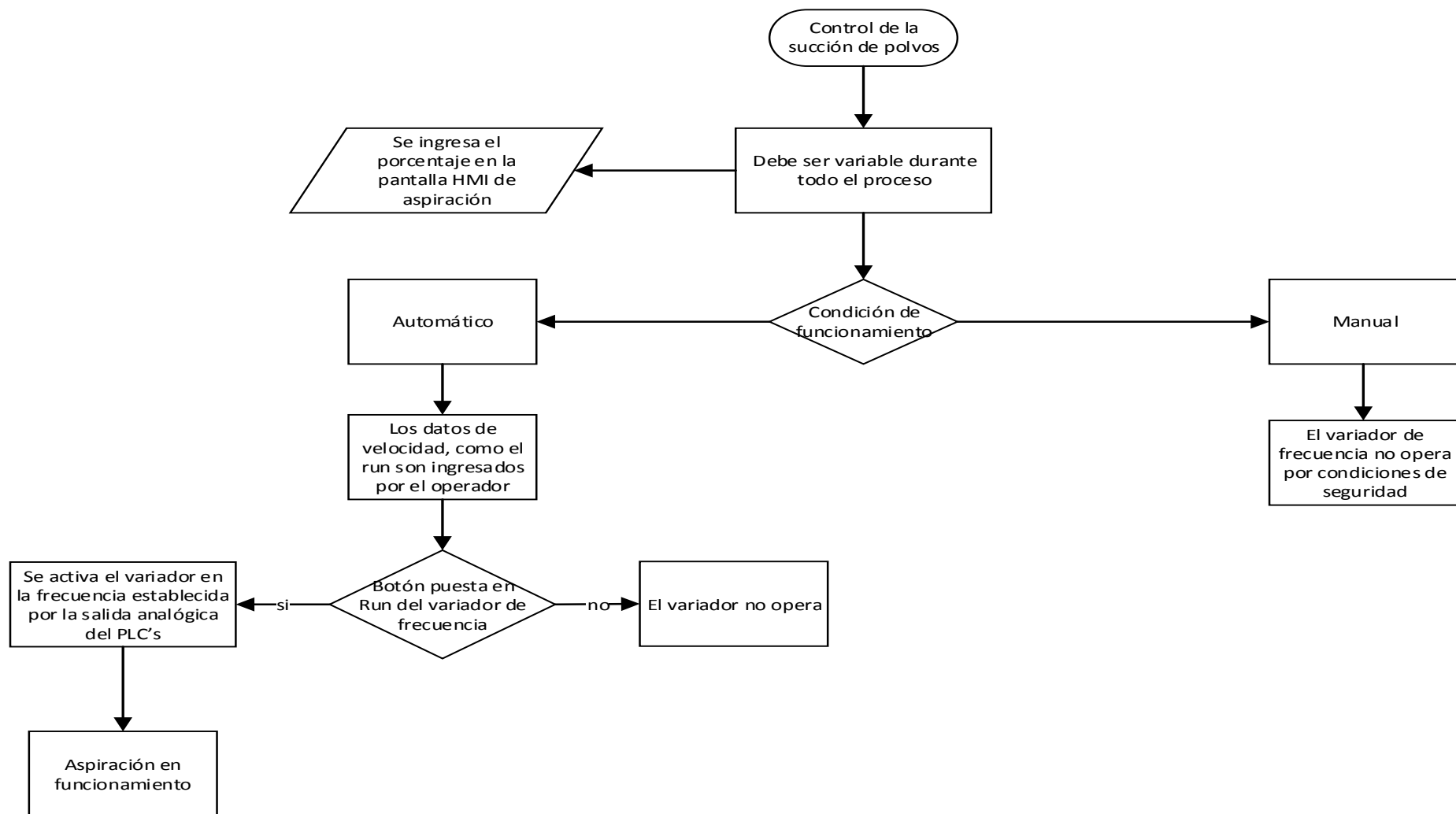


Figura 36 - Control de succión de polvos

Fuente: Autora (2017)

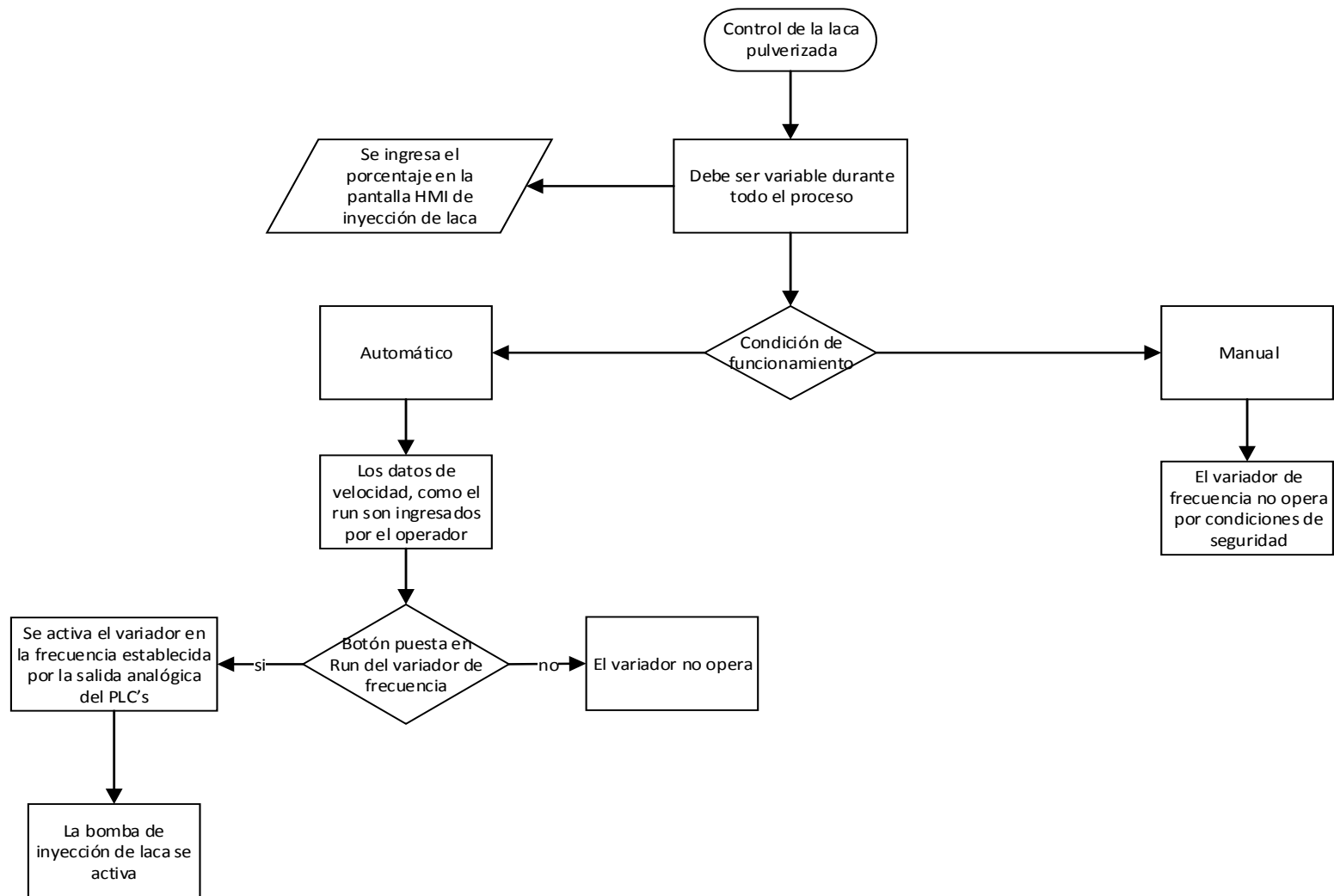


Figura 37 - Control de laca pulverizada

Fuente: Autora (2017)

3.2.2. Diseño de software

3.2.2.1. Diagrama de flujo del software

En la Figura 38 se detalla el diagrama de flujo del software utilizado para la realización de este proyecto.

En el programa realizado en el tía portal se tiene tres elementos principales: dos PLC's y una pantalla HMI, estos tres elementos funcionan con red Ethernet y un programa principal que tiene 4 sub programas los cuales funcionan al interactuar entre ellos, los mismos que son:

- ❖ Control de velocidad del bombo.
- ❖ Control de temperatura de la cámara del bombo.
- ❖ Control de la succión de Polvos.
- ❖ Control de la laca de pulverizado.

3.2.2.2. Movimiento giratorio del bombo

En el diagrama de la Figura 39 se muestra el subproceso del movimiento giratorio del bombo de laqueado, en el cual una vez establecido el valor, se ingresa datos en la pantalla HMI por parte del operario de la máquina. Se envía los datos mediante profinet al PLC S7 1200 modelo 1212C en donde se transforma en palabra para ser analizada en lenguaje de máquina, la cual se designa como salida analógica y en la memoria AM1 en el módulo SM 1234 en este caso se obtiene una variable de 12 bit para un rango de salida de 10 voltios, esta información es ingresada al variador de frecuencia que se encuentra configurado como entrada analógica de la variable de frecuencia de salida del motor y de esta forma se obtiene la variación de velocidad en el motor eléctrico que mueve la cámara del bombo.

Los botones digitales de marcha y paro corresponden a memorias que son transmitidas por toda la red profinet, las mismas que activan y desactivan la salida del PLC Q0.1 del PLC modelo 1212C, y así activar el variador de frecuencia en la configuración de 2 hilos para su puesta en marcha.

3.2.2.3. Inyección de laca para los comprimidos

En la Figura 40 se detalla el diagrama con el subproceso para el laqueado de pastillas del bombo de laqueado.

Una vez establecido el valor, se ingresan datos en la pantalla HMI por parte del operario de la máquina. Se envía los datos mediante profinet al PLC S7 1200 modelo 1212C y el 1214C en donde se transforma en palabra a fin de ser analizada en lenguaje de máquina, la cual se designa como salida analógica en la memoria, en este caso se obtiene una variable de 12 bit para un rango de salida de 10 voltios y en la salida AM0 en el módulo SM 1232.

Esta información es ingresada al variador de frecuencia, el mismo que se encuentra configurado como entrada analógica de la variable de frecuencia de salida del motor y de esta forma se obtiene la variación de velocidad en el motor eléctrico que mueve la bomba de laqueado.

Este proceso debe cumplir una secuencia de operación que se detalla a continuación:

- ❖ Se activa la salida del PLC Q0.1 del PLC S7 1214C para la electroválvula de pulverización.
- ❖ Se activa un timer por 5 segundos y luego se continúa el siguiente proceso.
- ❖ Se activa la salida del PLC Q0.2 del PLC S7 1214C de la electroválvula que abre las agujas.
- ❖ Se activa un timer por 5 segundos para continuar el siguiente proceso.
- ❖ Se activa la salida del PLC Q0.3 del PLC S7 1214C de la electroválvula que abre la válvula que da paso a la laca.
- ❖ Se activa un timer por 5 segundos para continuar el siguiente proceso.
- ❖ Se activa la salida del PLC Q0.2 del PLC S7 1212C, con esto se activa el variador de frecuencia en la configuración de 2 hilos para su puesta en marcha.

Los botones digitales de marcha y paro corresponden a memorias que son transmitidas por toda la red profinet, las cuales activan y desactivan la salida del PLC Q0.2 del PLC modelo 1212C.

3.2.2.4. Movimiento del torit

En la Figura 41 se indica el subproceso que se utiliza en la succión de polvos mediante el movimiento del torit, en el cual una vez establecido el valor, se ingresan datos en la pantalla HMI por parte del operario de la máquina. Se envía los datos mediante profinet al PLC S7

1200 modelo 1212C en donde se transforma en palabra a fin de ser analizada en lenguaje de máquina.

Se designa como salida analógica la palabra en la memoria en este caso se obtiene una variable de 12 bit para un rango de salida de 10 voltios y en la salida AM2 en el módulo SM 1232.

Esta información es ingresada al variador de frecuencia que se encuentra configurado como entrada analógica de la variable de frecuencia de salida del motor y de esta forma se obtiene la variación de velocidad en el motor eléctrico que mueve el movimiento del Torit.

Se activa la salida del PLC Q0.0 en el PLC 1212C, con el fin de activar el variador de frecuencia en la configuración de 2 hilos para su puesta en marcha.

3.2.2.5. Calentamiento del bombo

En la Figura 42 se realiza la explicación del subproceso de calentamiento del bombo de laqueado, el mismo que una vez establecido el valor, se ingresan datos en la pantalla HMI por parte del operario de la máquina. Se envía los datos mediante profinet al PLC S7 1200 modelo 1212C y 1214C en donde se transforma en palabra serán analizada en lenguaje de máquina.

Se obtiene datos de la PT100 en el módulo Signal Board SB1231 y se convierte la señal en palabra.

Se realiza una división de palabra a un número legible y se le consigna una memoria, la misma que es visible en el HMI

Se designa como salida analógica AM2 en el módulo SM 1234 con el fin de controlar el variador de frecuencia del motor de la turbina de aire. Se activa la salida del PLC Q1.5 con el fin de activar el variador de frecuencia en la configuración de 2 hilos y su puesta en marcha.

Se otorga como salida analógica AM1 en el módulo SM 1232 el mismo que controla el transductor de voltaje a presión de aire comprimido y se calibra el transductor con las variables.

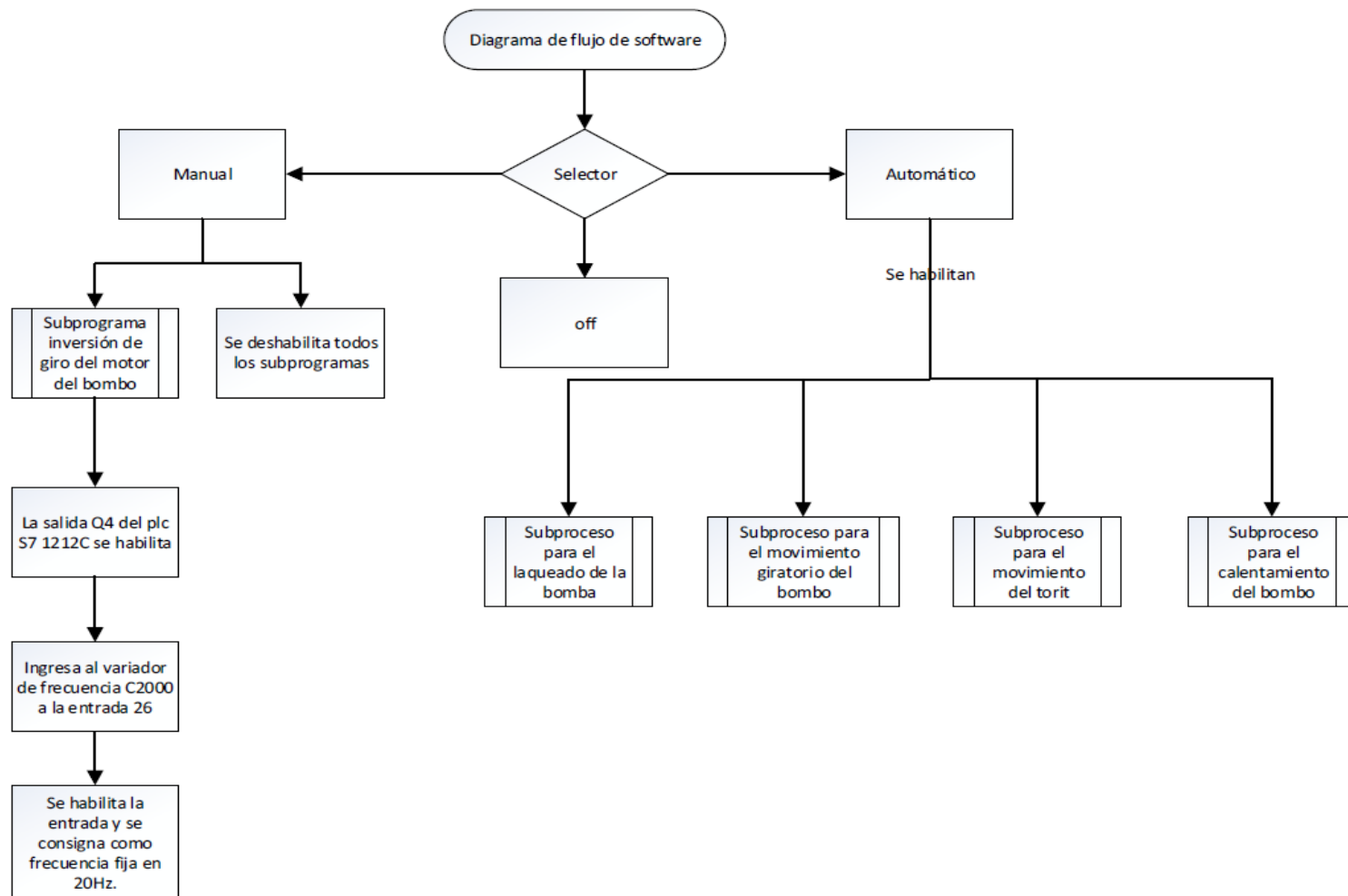


Figura 38 - Diagrama de Flujo del Software

Fuente: Autora (2017)

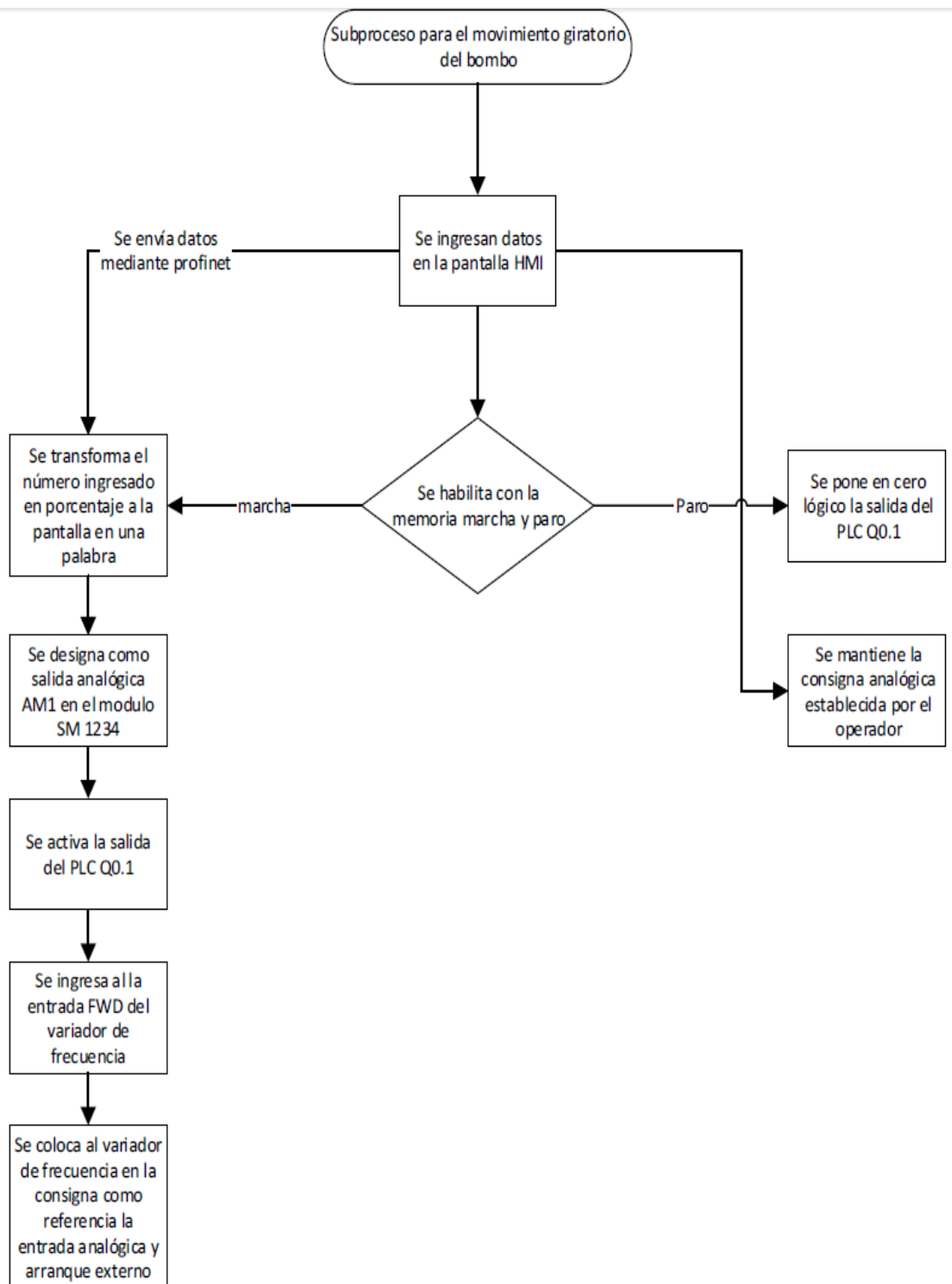


Figura 39 - Movimiento giratorio del bombo

Fuente: Autora (2017)

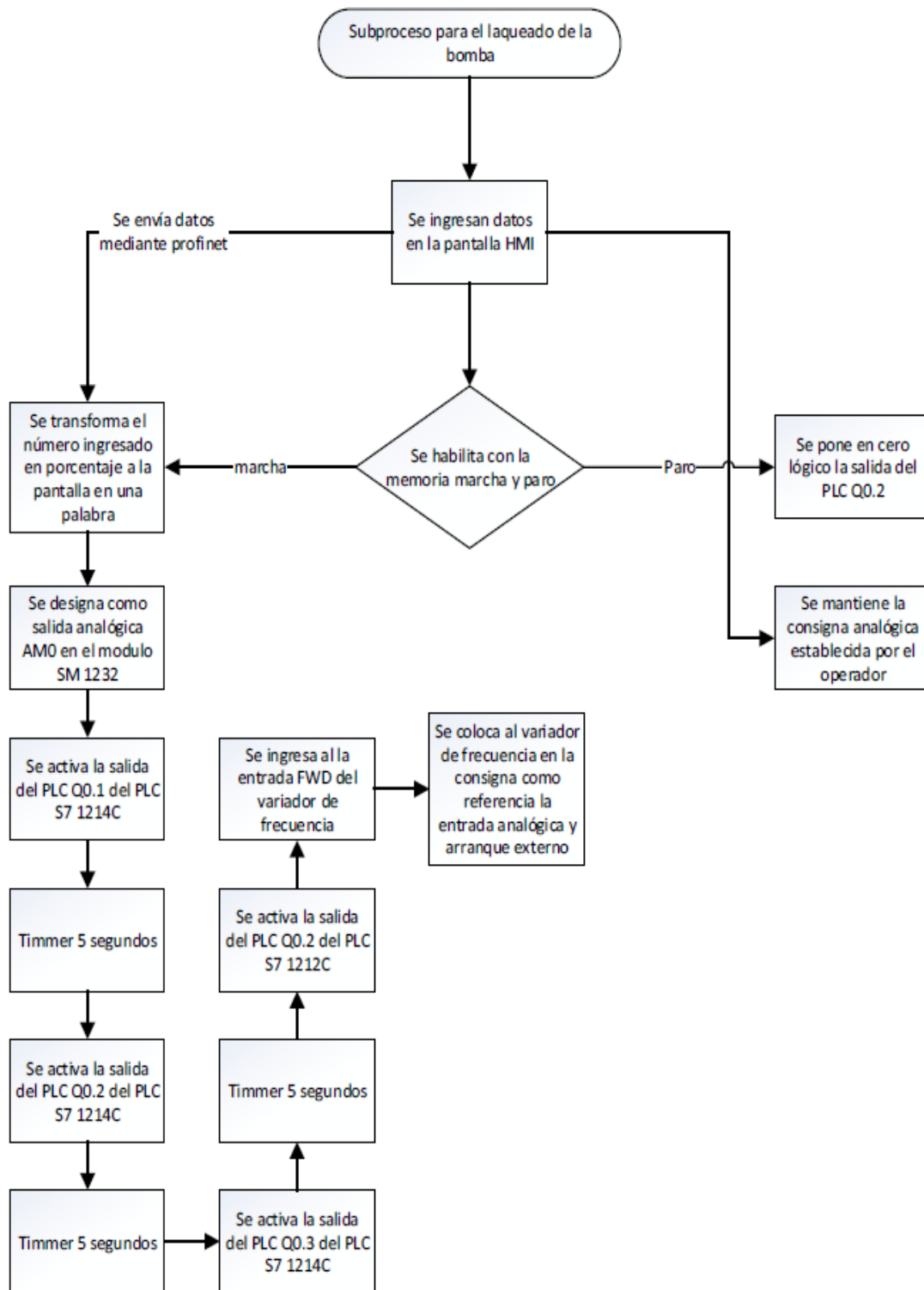


Figura 40 - Proceso de laqueado del bombo

Fuente: Autora (2017)

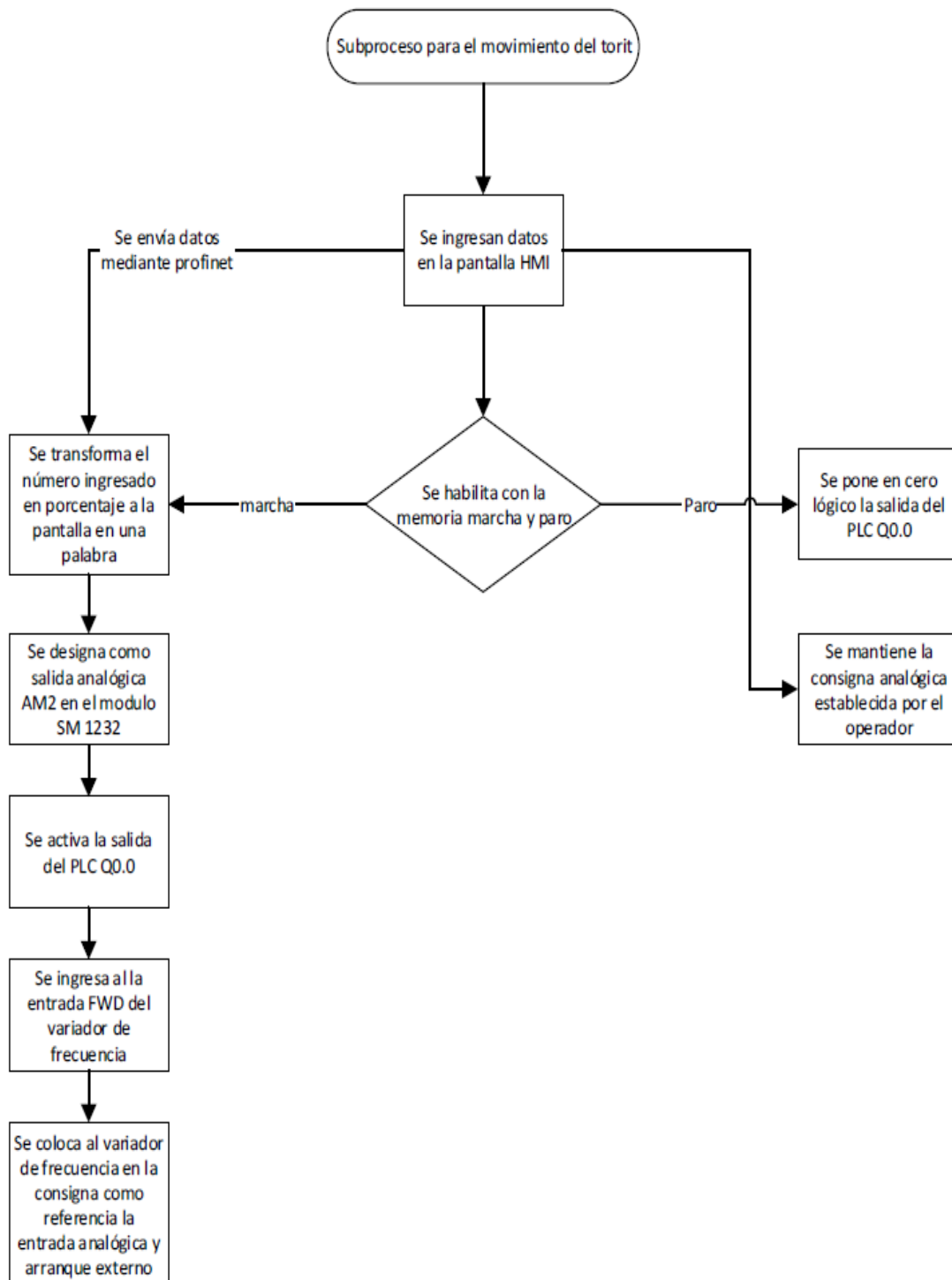


Figura 41 - Proceso del movimiento del Torit

Fuente: Autora (2017)

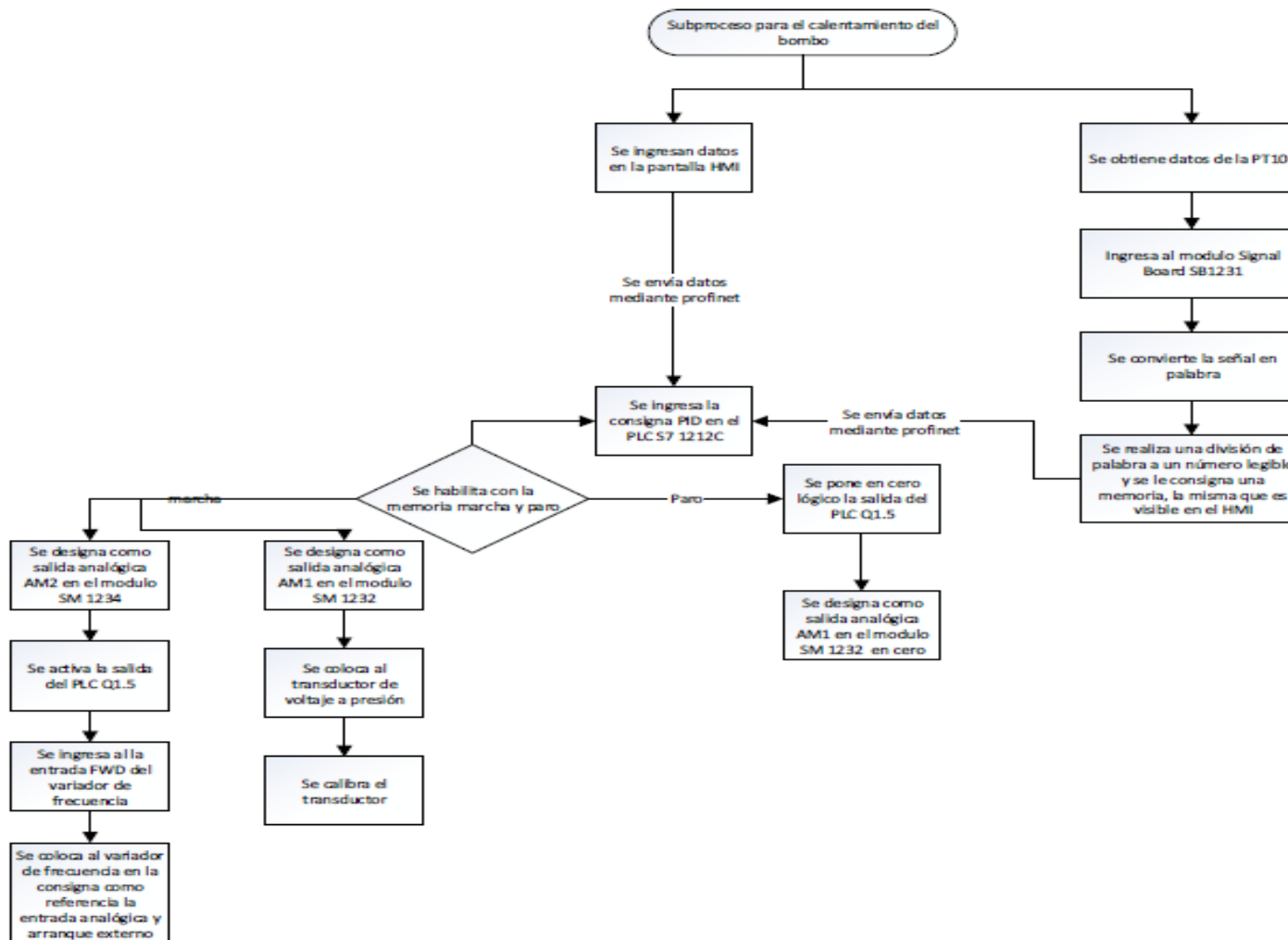


Figura 42 - Calentamiento del bombo

Fuente: Autora (2017)

3.2.3. Diseño esquemático

En el apartado del diseño esquemático se va a presentar los diagramas de fuerza y control para la implementación del presente proyecto.

3.2.3.1. Diagramas de Fuerza

El sistema de fuerza del bombo de laqueado que se muestra en la Figura 43 y 44, se alimenta con una red trifásica de 220 voltios de corriente alterna los mismos que parten de la red principal de alimentación de la planta Farmacid; esta red está ubicada en un cuarto de la cámara de transformación.

A partir del cuarto de transformación se instaló un interruptor magnético de 125 amperios, desde ese punto parte la acometida hacia el tablero principal de la máquina donde se encuentra un segundo breaker de 100 Amperios, esto con el fin de crear un sincronismo en los breakers de los elementos.

El tablero principal tiene para su distribución de cargas, barras de cobre de 150 amperios; con el fin de evitar sobrecalentamiento en cada una de estas, se conectan las diferentes cargas en las barras.

Se realiza el balanceo de cada una de las líneas en donde se encuentran las siguientes cargas:

- Variador de frecuencia de 7,5 HP que controla el motor de la cámara del bombo.
- Variador de frecuencia de 7,5 HP que controla el motor de la manejadora de aire.
- Variador de frecuencia de 1,0 HP que controla el motor de la bomba de laqueado.
- Toma eléctrica trifásica de 32 amperios para usos múltiples con su breaker de protección de 32 amperios de 3 polos.
- Acometida eléctrica del UPS con su breaker de protección de 16 amperios un polo.
- Toma eléctrica monofásica de 16 amperios para usos múltiples con su breaker de protección de 16 amperios de 2 polos.
- Supervisor de voltaje trifásico para el control de los contactores que alimentan a los variadores de frecuencia.

El UPS tiene varios tomacorrientes protegidos con un estabilizador de voltaje y una batería para cortes de energía.

En los tomacorrientes del UPS se encuentra conectado los siguientes circuitos para el respaldo ante cualesquier avería en la red eléctrica:

- Lámpara interna del tablero eléctrico principal para actividades de mantenimiento ante cualquier eventualidad.
- Las dos fuentes de poder de 110VAC a 24 VDC que sirven para la alimentación de diferentes componentes.
- Ventiladores para extraer el calor generado por el UPS y variadores de frecuencia durante el proceso normal.
- El PLC 1212C que tiene como fuente de alimentación 110VAC.

Las fuentes de poder de 24 VDC se encuentran ubicadas cada uno de los tableros eléctricos; la fuente del tablero principal alimenta los siguientes elementos:























- Transductor de voltaje a presión de aire comprimido de 0 a 15 PSI.
- Módulos analógicos 1232 y 1234.

La fuente del tablero secundario ubicada en la parte posterior del bombo de laqueado alimenta los siguientes elementos:

- PLC S7 1200 modelo 1214 C.
- Pantalla basic panel KTP 700 (HMI).
- Relés que controlan las diferentes electroválvulas.
- Switch CSM1277 para la comunicación Ethernet.
- Lámpara Led de 20W de la cámara del bombo de laqueado para visualización del proceso.

A continuación, en la Tabla 5 se detalla la simbología empleada en los diagramas de fuerza.

Tabla 5 - Simbología para diagramas de fuerza

SIMBOLOGÍA	
	INTERRUPTOR TRIFÁSICO TERMOMAGNÉTICO (DISYUNTOR)
	BREAKER TRIFÁSICO TERMOMAGNÉTICO
	BREAKER BIFÁSICO TERMOMAGNÉTICO
	BREAKER MONOFÁSICO TERMOMAGNÉTICO
	CONTACTOR TRIFÁSICO
	MOTOR TRIFÁSICO
	VARIADOR DE FRECUENCIA TRIFÁSICO
	SUPERVISOR DE VOLTAJE
	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN INTERRUMPIDA
	(TE-01)LÁMPARA FLUORESCENTE PARA TABLERO ELÉCTRICO (TE-02)LÁMPARA PANEL LED PARA MÁQUINA ACCELA-COTA
	VENTILADOR PARA TABLERO ELÉCTRICO 105-120 m3/h (2 UNIDADES - INYECCIÓN Y EXTRACCIÓN)
	PORTAFUSIBLE PARA RIEL DIN (INCLUYE FUSIBLE)
	PLC SIEMENS CPU 1212C AC/DC/RLY 8 DI 24VDC, 6 DO TIPO RELÉ, 2 AI, 25KB, PUERTO RJ45
	FUENTE 24VDC 5A
	TRANSDUCTOR PARA VÁLVULA DE VAPOR DIFERENCIAL VOLTAJE (0-10VDC) A PRESIÓN (BAR)
	PLC SIEMENS CPU 1214C DC/DC/DC 14 DI 24VDC, 10 DO 24VDC, 2 AI, 50KB, PUERTO RJ45
	LUZ PILOTO CON BUZZER DE ALARMA
	RELÉ 24VDC
	ELECTROVÁLVULA
	LÍMITES DE TABLERO ELÉCTRICO
	BARRAS DE COBRE
	CONTINUACIÓN

Fuente: Autora (2017)

A continuación en la Figura 43, se detalla el diagrama de fuerza del sistema que se instaló para la puesta en marcha del Bombo de laqueado ACCELA COTA y en la Figura 44 se muestra el diagrama de fuerza de la red del UPS.

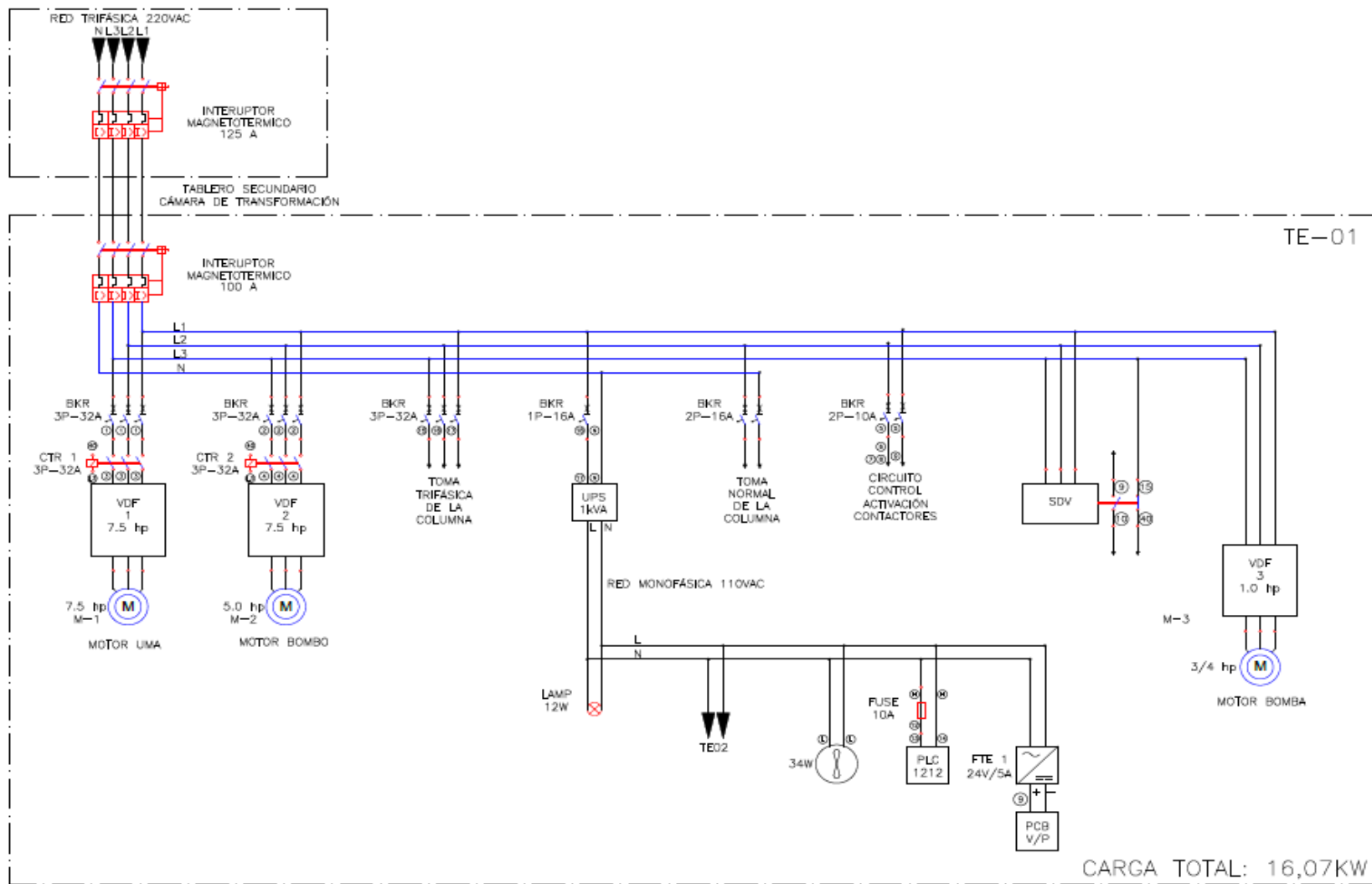


Figura 43 - Diagrama eléctrico de potencia del bombeo TE - 01

Fuente: Autora (2017). Anexo: lámina SE- 01

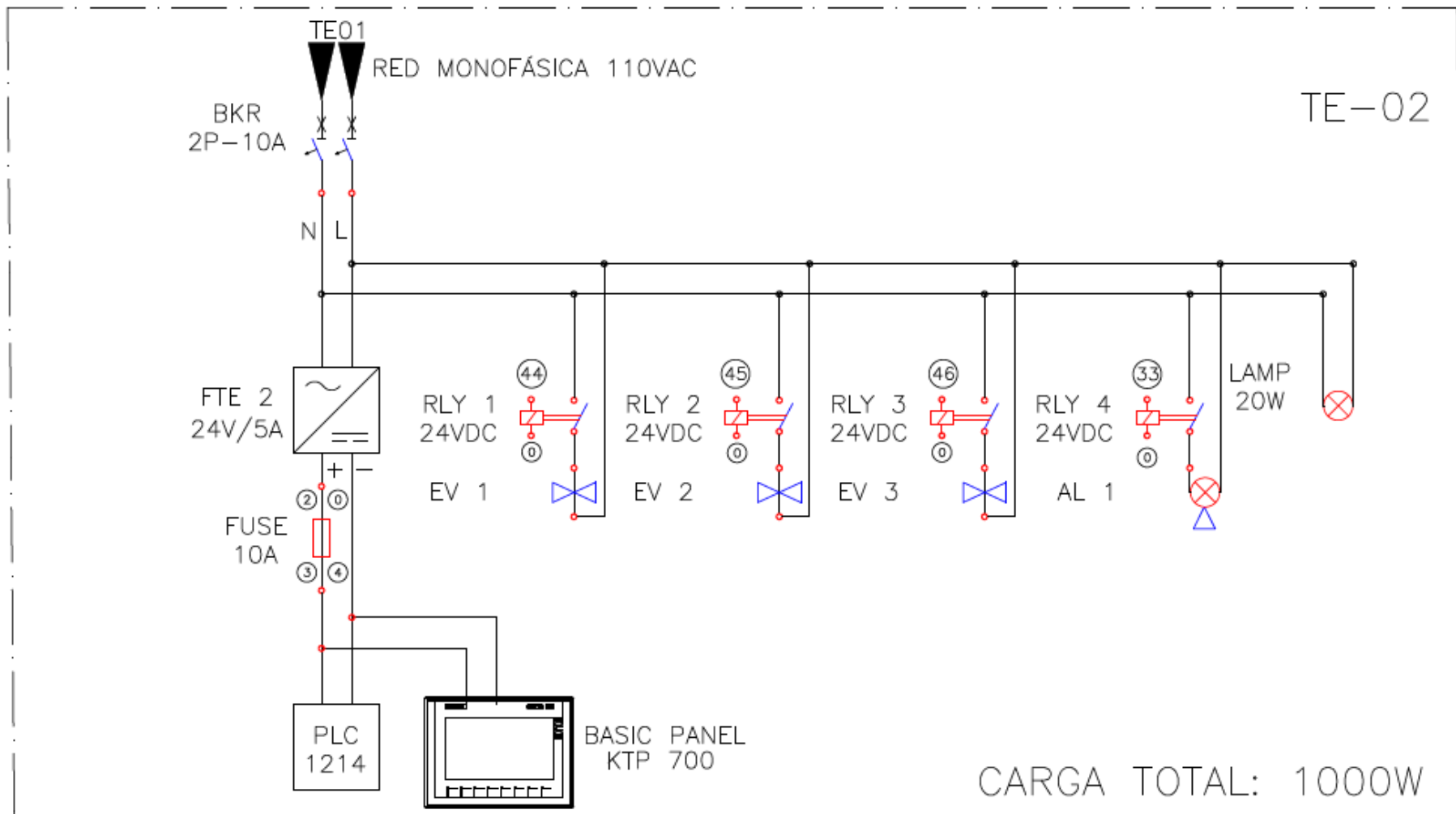


Figura 44 - Diagrama eléctrico de potencia del bombo de laqueado TE - 02

Fuente: Autora (2017). Anexo: lámina SE- 01

3.2.3.2. Diagramas de Control

A continuación se muestran las siguientes tablas, las cuales contienen información de la simbología y nomenclatura para los diagramas de control.

Tabla 6 - Simbología y Nomenclatura para Diagramas de Control

SIMBOLOGÍA		NOMENCLATURA	
	CONTACTO N.O. (NORMALMENTE ABIERTO)	CTR-#	CONTACTOR
	SELECTOR DE 3 POSICIONES	VDF-#	VARIADOR DE FRECUENCIA
	SENSOR DE TEMPERATURA PT100	UPS	EQUIPO DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA
	RELÉ 24VDC	SDV	SUPERVISOR DE VOLTAJE
	LIMITES DE TABLERO ELÉCTRICO	PLC	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE
	CONTINUACIÓN	FTE	FUENTE DE VOLTAJE CONTINUO
		PCB	TRANSDUCTOR (PLACA ELECTRÓNICA)
		V/P	CAMBIO DE VOLTAJE A PRESIÓN
		PT-100	SENSOR DE TEMPERATURA
		UMA	UNIDAD MANEJADORA DE AIRE
		RLY	RELÉ
		TE-#	TABLERO ELÉCTRICO
		##	ETIQUETADO FISICO COLOCADO

Fuente: Autora (2017)

Tabla 7 - E/S del PLC S7 1200 CPU 1212 C

PLC 1212C TE-01	
ENTRADAS DIGITALES	
IO.0	ALARMA BOMBO
IO.1	ALARMA BOMBA DE LACA
IO.2	ALARMA TORIT
IO.3	ALARMA UMA
IO.4	ACTIVACIÓN PARO DE EMERGENCIA
IO.5	ALARMA SUPERVISOR DE VOLTAJE
SALIDAS TIPO RELÉ	
Q0.0	RUN BOMBO
Q0.1	RUN UMA
Q0.2	RUN BOMBA DE LACA
Q0.3	RUN TORIT
Q1.4	REVERSA BOMBO
Q1.5	JOG BOMBO
SALIDAS ANÁLOGAS – SM1234	
A0.0	SEÑAL DE CONTROL BOMBO
A0.1	SEÑAL DE CONTROL VÁLVULA DE VAPOR
SALIDAS ANÁLOGAS – SM1232	
A1.0	SEÑAL DE CONTROL BOMBA DE LACA
A1.1	SEÑAL DE CONTROL TORIT
A1.2	SEÑAL DE CONTROL UMA

Fuente: Autora (2017)

Tabla 8 - E/S del PLC S7 1200 CPU 1214 C

PLC 1214C TE-02	
ENTRADAS DIGITALES	
I0.0	MODO AUTOMÁTICO
I0.1	MODO MANUAL
I0.2	REVERSA DEL BOMBO (MODO MANUAL)
I0.3	PARO DE EMERGENCIA
SALIDAS DIGITALES	
Q0.0	ELECTROVÁLVULA 1
Q0.1	ELECTROVÁLVULA 2
Q0.2	ELECTROVÁLVULA 3
Q0.3	ALARMA AL-1
SALIDAS RTD – SB 1231	
RTD	CONEXIÓN PT 100
SWITCH – CSM 1277	
P1	ETHERNET PANTALLA TÁCTIL
P2	ETHERNET PLC 1212C
P4	ETHERNET PLC 1214C

Fuente: Autora (2017)

En la Figura 45, se muestra el diagrama de control del tablero principal y en la Figura 46 se indica el diagrama de control del tablero secundario del bombo de laqueado ACCELA COTA.

3.2.3.3. Diagrama de Red

En la Figura 47, se muestra el diagrama de Red en el cual se puede ver las conexiones existentes entre los PLC's y la pantalla táctil HMI.

3.2.3.4. Diseño del sistema

En la Figura 48, se indica el diseño del sistema elaborado para la implementación y puesta en marcha del bombo de laqueado ACCELA COTA, mientras que en la Figura 49 se puede visualizar el diseño del panel de la botonera con todas sus descripciones.

3.2.3.5. Diagrama electroneumático














En la Figura 50, se visualiza el diagrama electroneumático que corresponde al control del mecanismo de las pistolas de pulverización, además en la Tabla 9 se muestra su nomenclatura y en la Tabla 10 la simbología.

Tabla 9 – Nomenclatura del diagrama electroneumático

NOMENCLATURA	
P1	ALIMENTACIÓN PRINCIPAL DE AIRE
C1	FILTRO PAL DE DESCARGA AUTOMÁTICA
M#	MANÓMETRO
F1	FLAUTÍN DE DISTRIBUCIÓN
EV#	ELECTROVÁLVULA 3x2
V#	REGULADOR DE PRESIÓN
VN1	VÁLVULA DE PILOTO NEUMÁTICO
B1	BOMBA DE LACA
L1	SALIDA AIRE DE ATOMIZACIÓN DE LACA
L2	SALIDA AIRE PARA AGUJA DE PISTOLA
L3	SALIDA LACA PARA PISTOLA

Fuente: Autora (2017)

Tabla 10 - Simbología del diagrama electroneumático

SIMBOLOGÍA	
	PUNTO DE TOMA DE AIRE
	FILTRO PAL CON DESCARGA AUTOMÁTICA
	MANÓMETRO
	FLAUTÍN DISTRIBUIDOR DE AIRE
	REGULADOR DE PRESIÓN MANUAL
	VÁLVULA 3x2 N.C. DE DOBLE PILOTO (ELÉCTRICO Y NEUMÁTICO) CON RETORNO POR MUELLE
	FILTRO SILENCIADOR DE DESCARGA DE AIRE
	VÁLVULA 3x2 N.C. DE PILOTO ELÉCTRICO CON RETORNO POR MUELLE
	VÁLVULA DE 2 POSICIONES N.C. DE PILOTO NEUMÁTICO CON RETORNO POR MUELLE
	BOMBA DE LÓBULOS CON MOTOR Y CAJA REDUCTORA
	PUNTO DE SALIDA
	RED DE AIRE
	LACA PARA RECUBRIMIENTO DE MEDICAMENTO

Fuente: Autora (2017)

Nota:

Todos los planos se encuentran adjuntos en formato A1 como parte de los anexos del Manual Técnico.

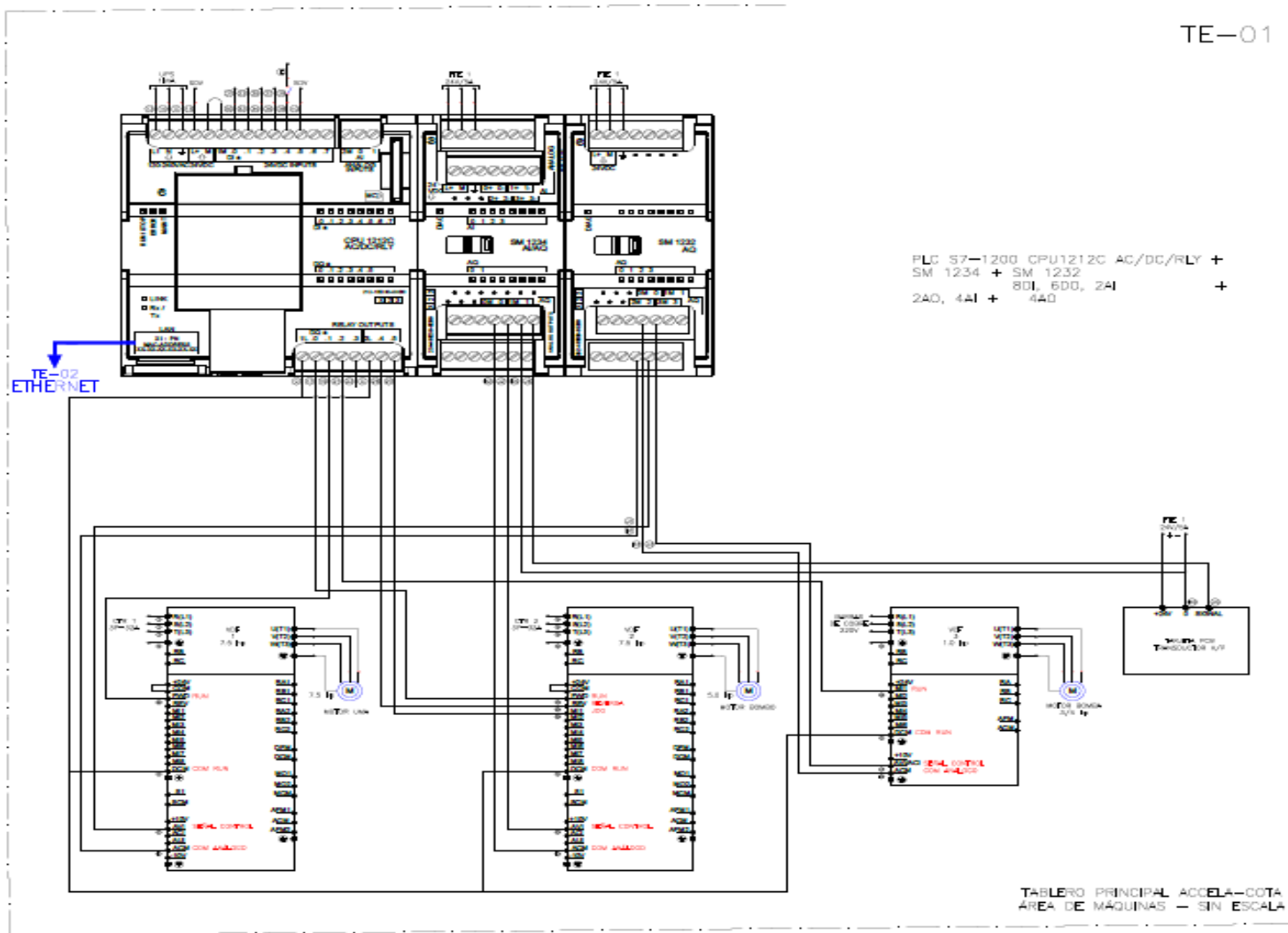


Figura 45 - Diagrama de conexión del PLC S7 1200 (CPU 1212 C)

Fuente: Autora (2017). Anexo: lámina SE- 02

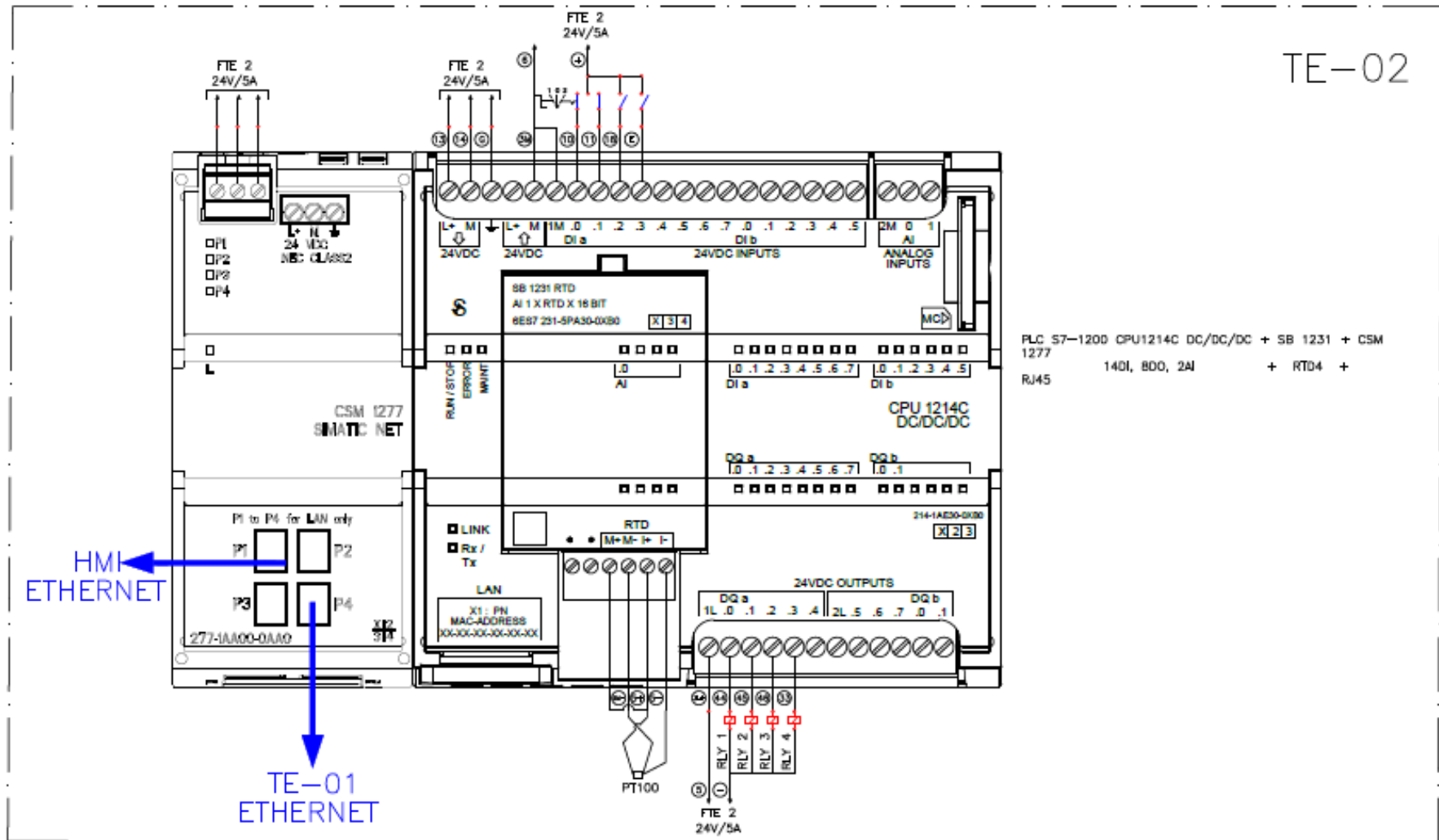


Figura 46 - Diagrama de conexión del PLC S7 1200 (CPU 1214 C)

Fuente: Autora (2017). Anexo: lámina SE- 02

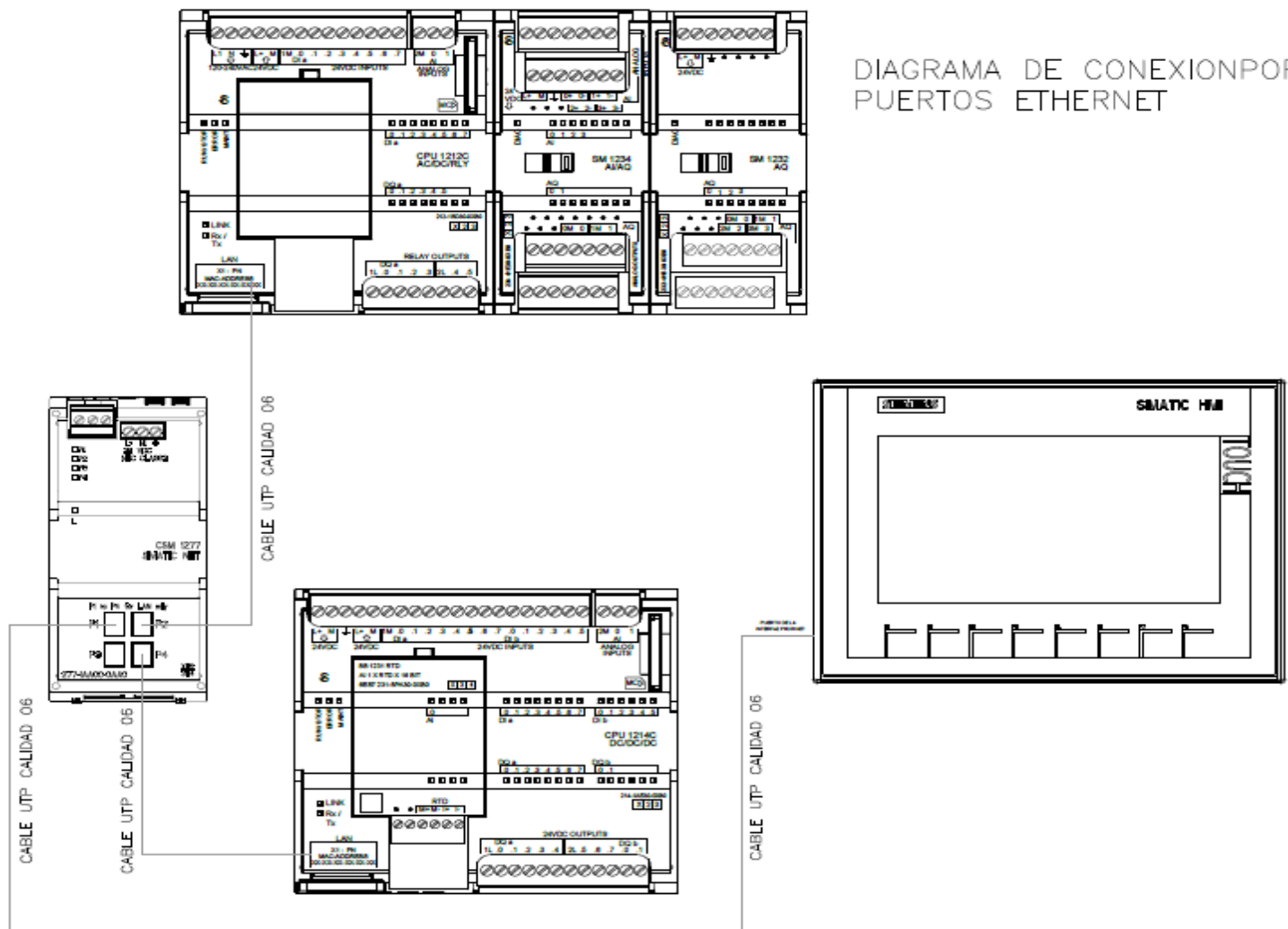


DIAGRAMA DE CONEXION POR PUERTOS ETHERNET

Figura 47 - Diagrama de conexión por puertos Ethernet

Fuente: Autora (2017). Anexo: lámina SE- 04

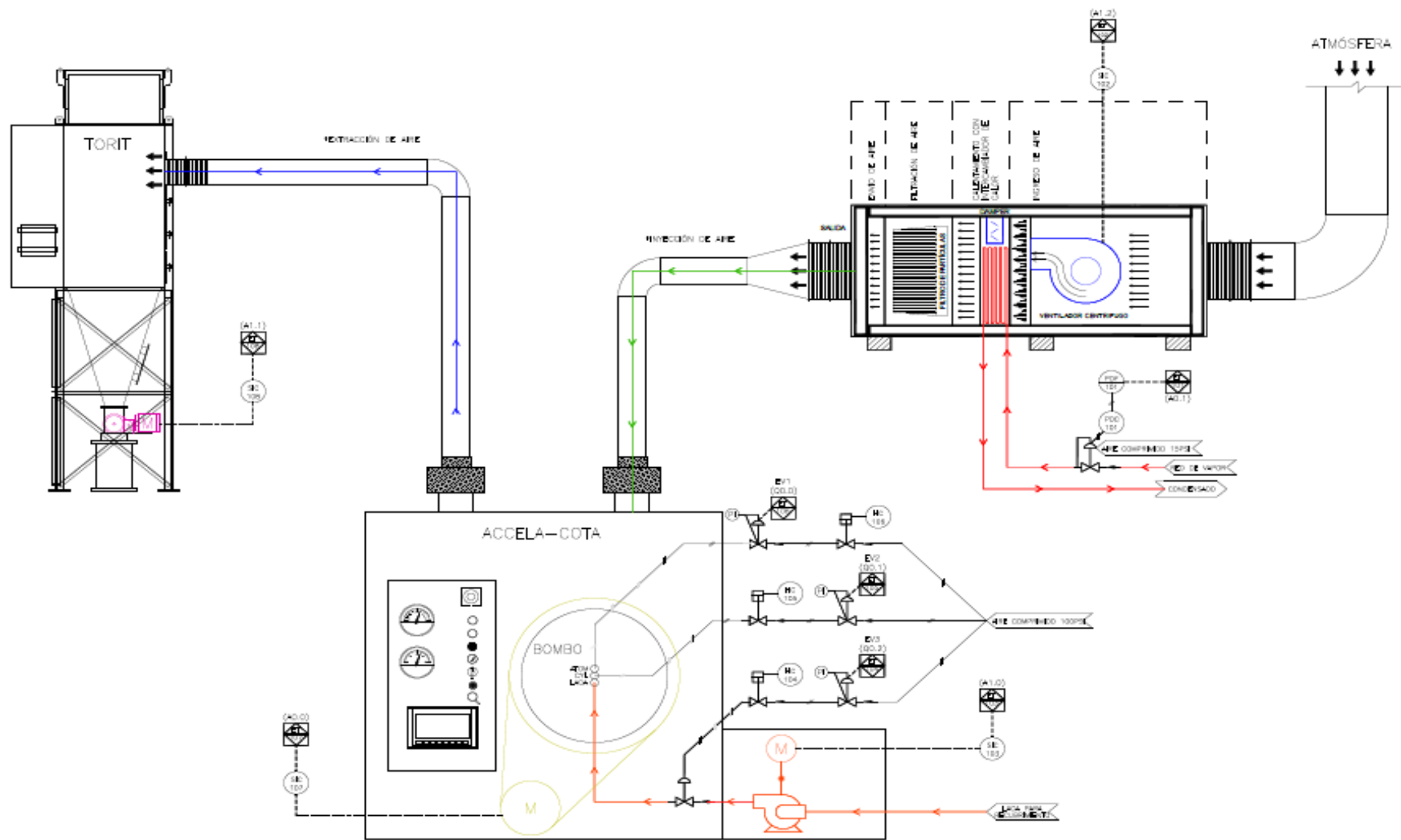


Figura 48 - Diseño del sistema para el bombo de laqueado

Fuente: Autora (2017). Anexo: lámina SE- 03

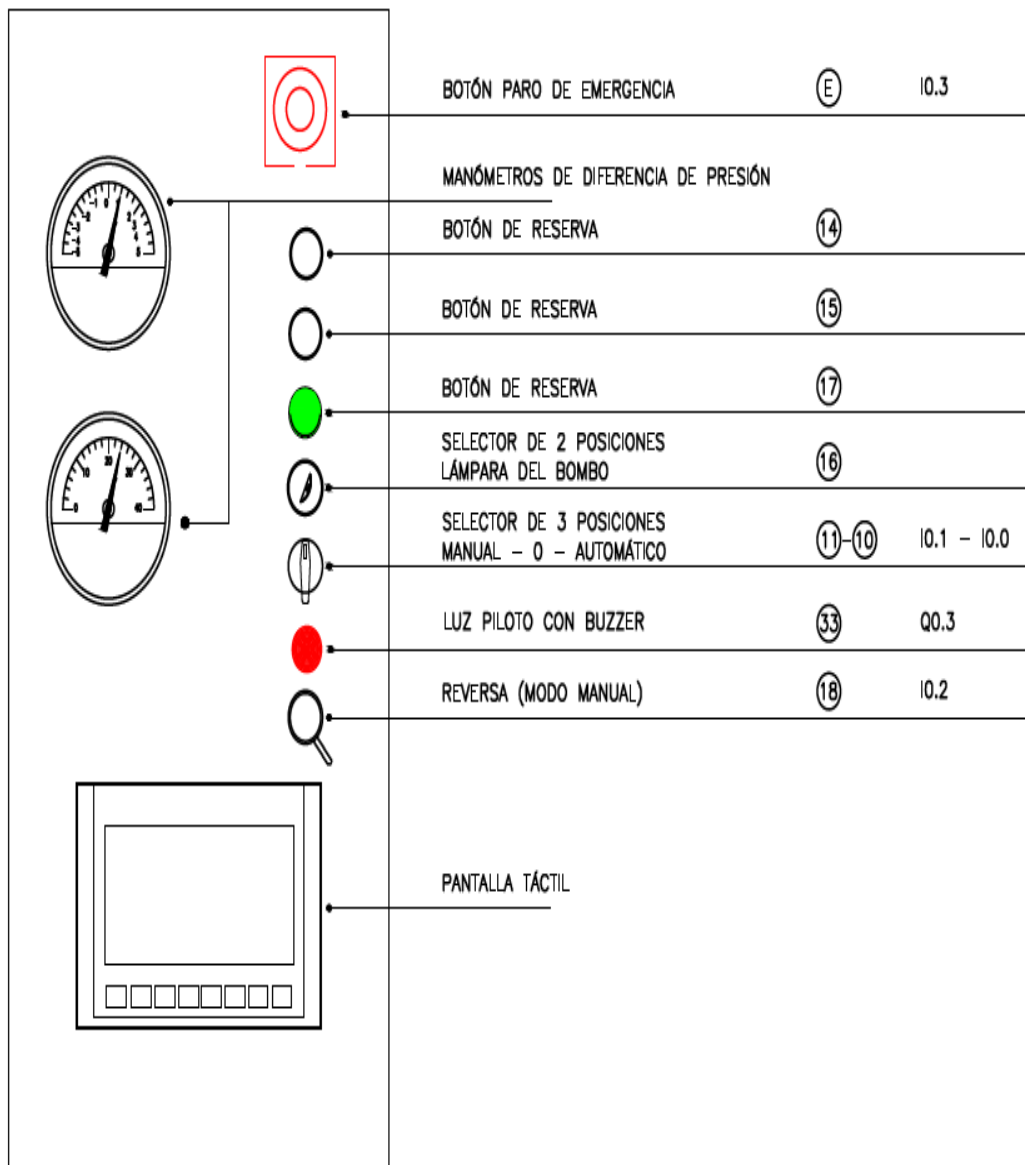


Figura 49 - Descripción de la botonera del bombo de laqueado

Fuente: Autora (2017). Anexo: lámina SE- 04

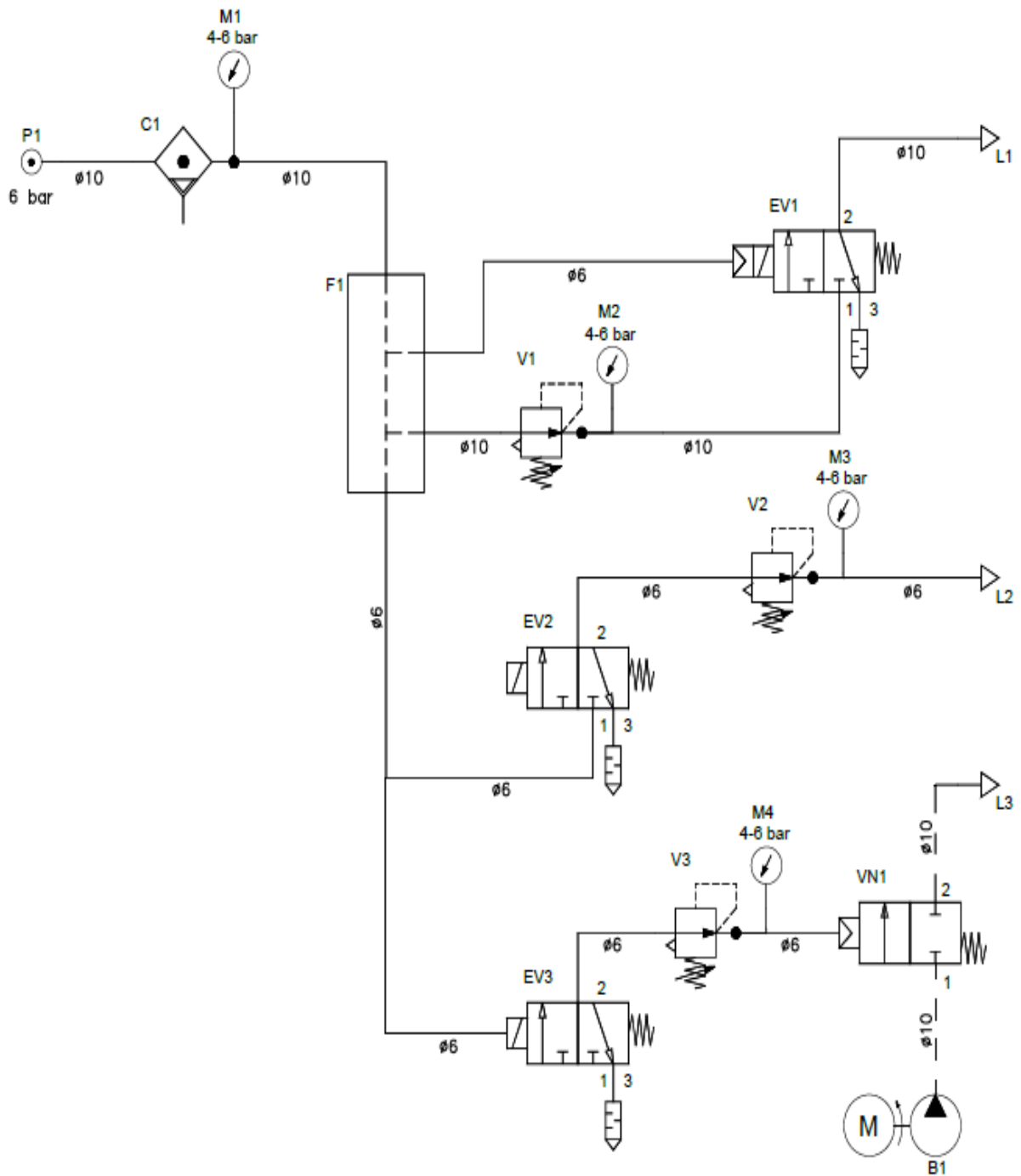


Figura 50 - Diagrama electropneumático
Fuente: Autora (2017). Anexo: lámina SE- 04

3.3. Implementación

En la Figura 51 se muestra el diagrama de procesos del sistema de control del bombo de laqueado ACCELA COTA.

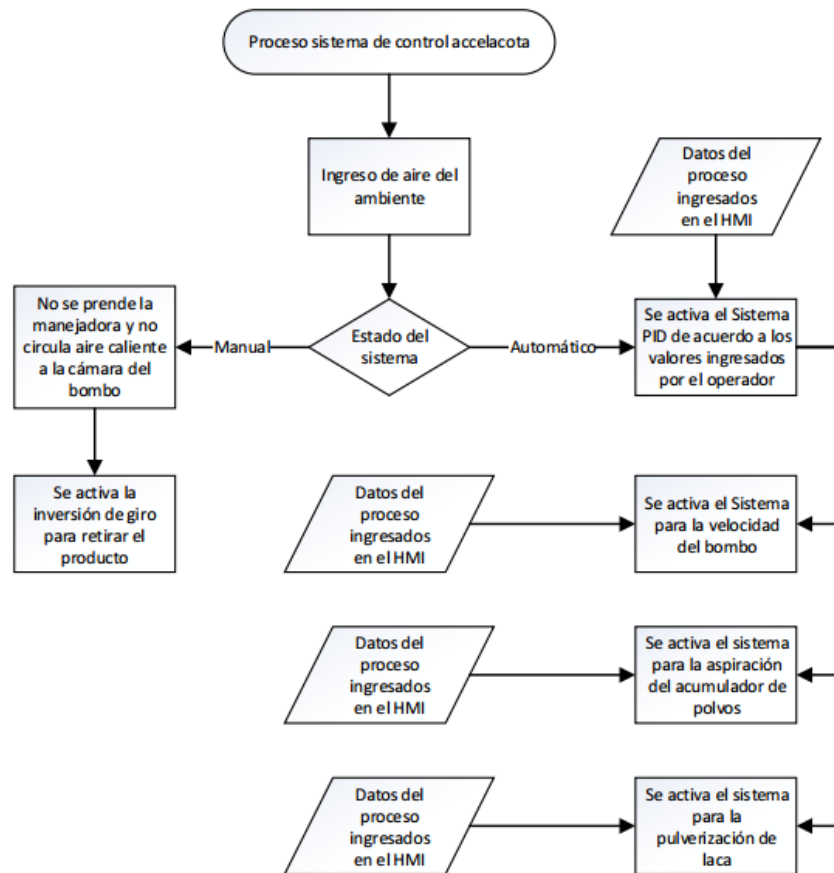


Figura 51 - Diagrama de procesos del sistema

Fuente: Autora (2017)

3.3.1. Datos de la empresa

En la Tabla 11 se muestra los datos de la Empresa Farmacid, en donde se realizó el montaje del proyecto.

Tabla 11 - Datos de la empresa Farmacid S.A

Empresa:	FARMACID S.A.
Responsable:	Ing. Santiago Andrade
Dirección:	Av. Ilaló 1048 entre Conocoto y San Rafael
Teléfono:	02-3829-620

Fuente: Autora (2017)

3.3.2. Términos y abreviaturas

En la Tabla 12 adjunta, se detalla las siglas utilizadas en el presente proyecto.

Tabla 12 - Siglas y abreviaturas

SIGLAS	DESCRIPCIÓN
SPT	Sistema de Puesta a Tierra
TTA	Tablero de Transferencia Automática
TDP	Tablero de Distribución <u>Principal</u>
EEQ	Empresa Eléctrica Quito
KVA	Potencial Aparente
KW	<u>Potencial</u> Real
V	Voltaje
I	Corriente
KVAR	Potencia Aparente reactiva
CT	Cajas Térmicas

Fuente: Autora (2017)

3.3.3. Actividades realizadas

Una vez realizado el levantamiento técnico de la máquina se procede a la implementación la cual consiste en las siguientes actividades:

- **Revisar el estado de las piezas de la máquina**

Debido a que la máquina no es nueva, algunas piezas están desgastadas, en especial las que están sujetas a movimiento como seguros bisagras de la puerta principal, tornillos de las puertas principales y cajas de paso de cables.

- **Mantenimiento electromecánico de los diferentes elementos que componen la máquina.**

Antes de la puesta en marcha de esta máquina y ya que esta no es nueva, así como sus motores y válvulas se debe realizar un mantenimiento en el cual se realiza las siguientes actividades:

- ❖ Cambio de rodamientos.
- ❖ Limpieza de cajas reductoras con desengrasantes
- ❖ Retiro del óxido existente en las carcasas de los motores, electroválvulas, y cajas reductoras.

- ❖ Cambio de aceite de las cajas reductoras.
- ❖ Pintar las carcasas de los motores.
- ❖ Cambio de tornillos y pernos oxidados.



Figura 52 - Mantenimiento de motor

Fuente: Autora (2017)

- **Mantenimiento mecánico de las diferentes piezas que conforman la máquina.**

Después de realizar una inspección al bombo de laqueado Accela Cota, se constató la falta de varias piezas de su estructura, las mismas que fueron construidas localmente; a continuación se indica un listado de estas piezas:

- ❖ Tapa del ducto de ingreso de aire caliente.
- ❖ Pines de ajuste de las pistolas de pulverización.
- ❖ Tapas de las guías del distribuidor de laca.
- ❖ Tapón tipo clamp para el distribuidor de laca.

- **Levantamiento del proceso con el departamento de control de calidad de Farmacid para el proceso.**

Una vez realizado el levantamiento técnico tanto eléctrico como mecánico del bombo de laqueado, se realizó el nuevo proceso con el personal a cargo de la empresa Farmacid en el cual se obtuvo la siguiente en la información:

- ❖ Después de terminar la elaboración de comprimidos en la tableteadora, se revisó la humedad de las tabletas, comprensión de las mismas y análisis de materia prima.
- ❖ Se define la temperatura de la cámara del bombo de laqueado, por este motivo debe ser variable ya que cada lote tiene temperaturas variables y constantes en un proceso, lo cual se debe reflejar en grados centígrados.
- ❖ Cada modelo de comprimido tiene una laca diferente para su implementación, esta puede ser de diferentes tipos y debe regular la cantidad de laca suministrada en los comprimidos, esta debe reflejarse en galones por minuto.
- ❖ Los lotes por lo general son de diferente volumen y generan una determinada cantidad de polvo que corresponde a dicho lote, por este motivo se debe regular la capacidad del colector de polvos; durante todo el proceso debe encontrarse en CFM (pies cúbicos por minuto).
- ❖ La revolución de la cámara del bombo debe ser variable, ya que la humedad y la compresión de las pastillas varía la resistencia mecánica y el movimiento giratorio puede dañar a los mismos.
- **Instalación de una válvula proporcional para la manejadora la cual debe controlar la temperatura de la cámara del bombo.**

Una vez concluido el levantamiento técnico y el levantamiento del proceso, la primera actividad a realizarse consiste en instalar la válvula proporcional ya que de esta forma se termina el circuito de vapor que necesita la máquina, se permite la libre circulación del fluido y el cierre del lazo cerrado de vapor, como se muestra en la Figura 53.



Figura 53 - Válvula proporcional para la manejadora

Fuente: Autora (2017)

- **Diseño y construcción de un tablero eléctrico master.**

Una vez cerrado el circuito de vapor, el mantenimiento de los elementos electromecánicos y la reconstrucción de piezas mecánicas, se procede con la implementación del tablero eléctrico de control.

- ❖ **Primer tablero eléctrico**

El sistema tiene dos tableros eléctricos principales, el primero que se considera como el tablero master está colocado en la parte superior de la planta es decir apartado del área productiva porque las lacas son de base alcohólica y pueden ocasionar un incendio. En la Figura 54 se puede ver este tablero, el cual consta de las siguientes etapas de control eléctrico, las mismas que se describen a continuación.

- Breaker principal del sistema de control.
- Breaker secundarios de potencia para el sistema principal de bombo, sistema principal de la manejadora, y sistema de la bomba de laqueado.
- Contactores para el cuidado de los variadores de frecuencia por corte de energía unidos a un supervisor de voltaje.

- Variadores de frecuencia utilizados en el motor principal de bombo, motor principal de la manejadora, y motor de la bomba de laqueado.
- UPS correspondiente al respaldo del sistema eléctrico de control.
- Circuito del transductor para la válvula proporcional y circuito neumático.

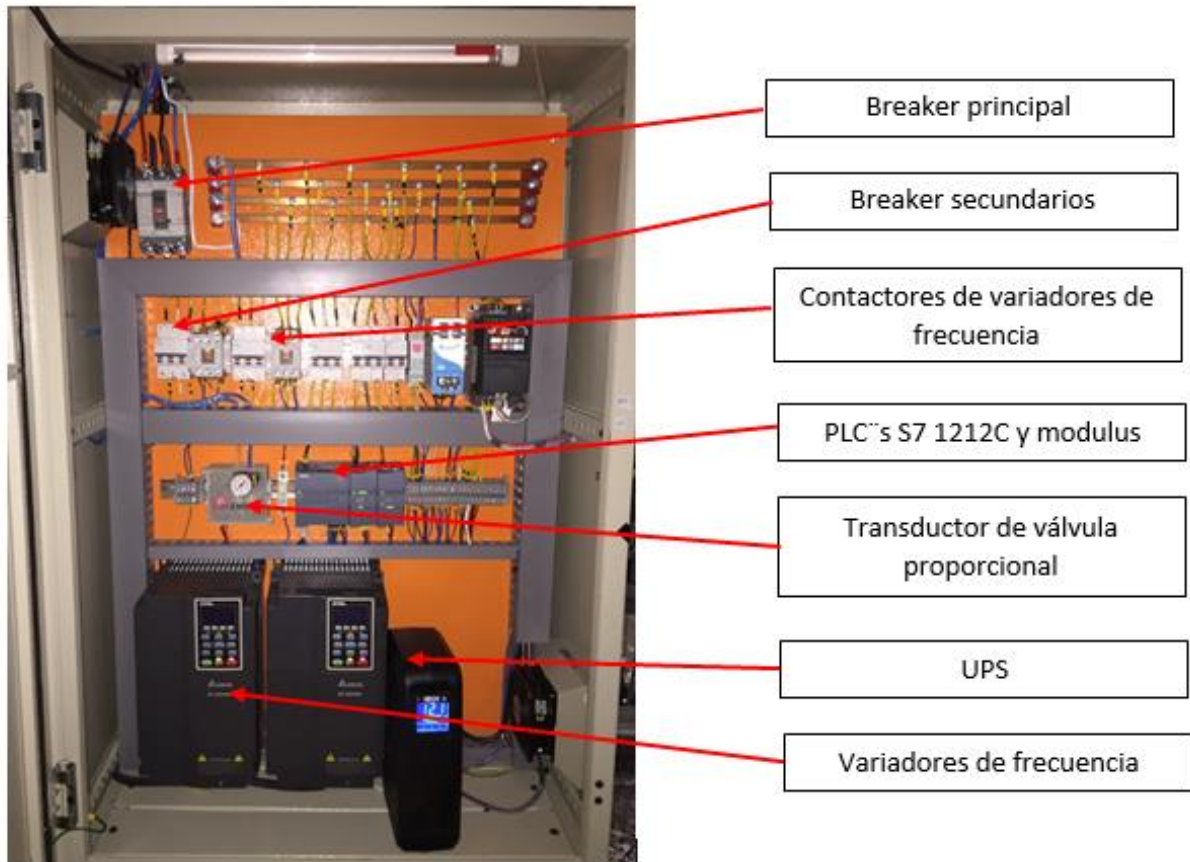


Figura 54 - Tablero principal

Fuente: Autora (2017)

❖ Segundo tablero eléctrico

El segundo tablero eléctrico mostrado en la Figura 55, se encuentra en la parte posterior de la máquina; este tiene los elementos esenciales para su operación, una fuente, un switch que tiene 4 puertos ethernet, un breaker principal y un PLC's S7 1200 con su CPU 1214C el cual tiene salidas a transistor y no con relay, ya que estas generan un chispazo al cerrar el circuito y no producen un posible incendio con la laca de base alcohólica, debido a que este gabinete está hecho de acero

inoxidable como exige las normas de buenas prácticas de manufactura en la industria farmacéutica.

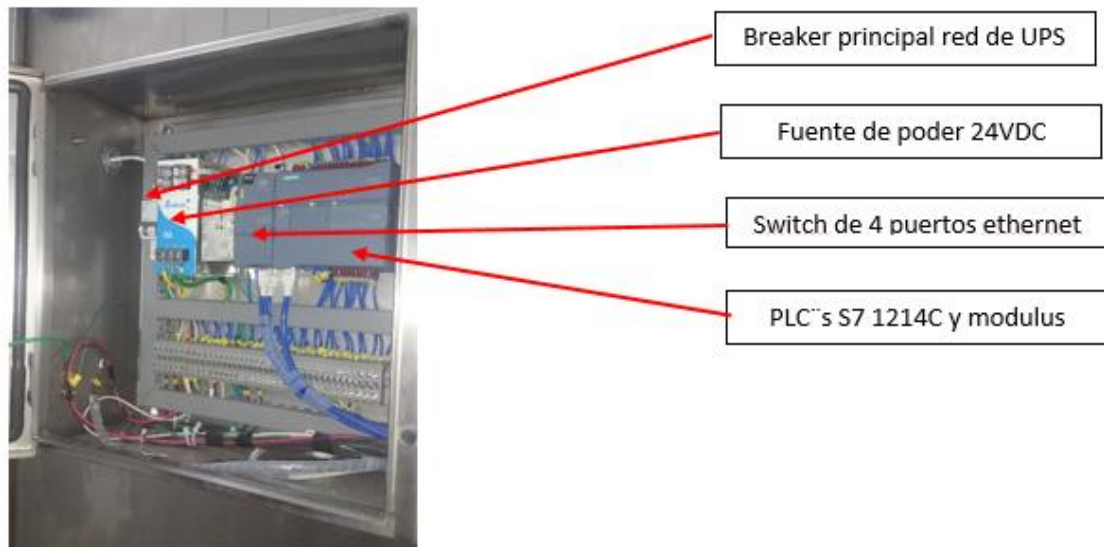


Figura 55 - Tablero secundario

Fuente: Autora (2017)

- **Tableros eléctricos terciarios**

El sistema eléctrico tiene varios tableros adicionales, como cajas de paso para cables eléctricos, y un tablero eléctrico terciario el cual se indica en la Figura 56, en donde se encuentra el variador de frecuencia del colector de polvo y las protecciones del mismo.

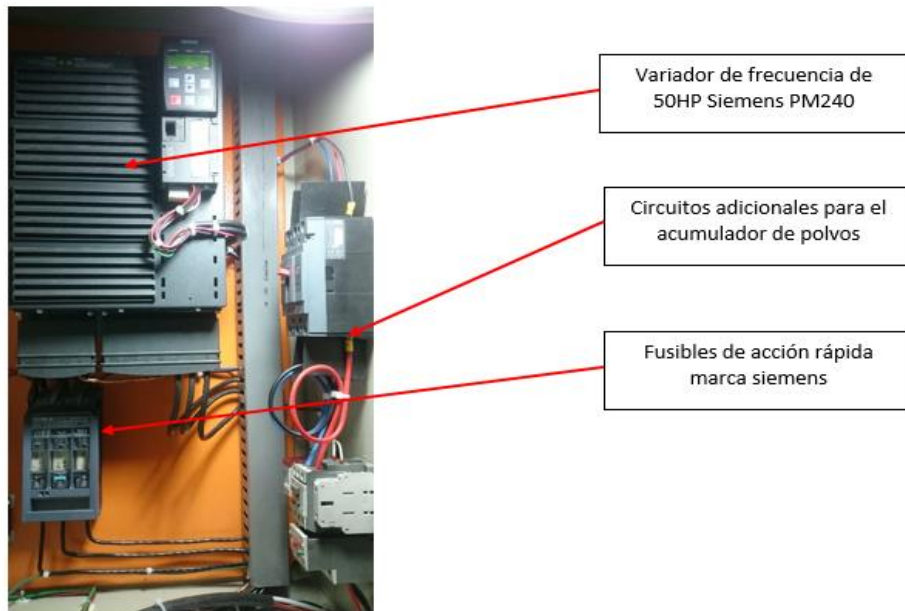


Figura 56 - Tablero terciario

Fuente: Autora (2017)

- **Cableado eléctrico de los tableros eléctricos.**

Los tableros eléctricos que conforma el sistema de control de la máquina Accela Cota, se encuentran separados alrededor de 70 metros cada uno, por este motivo se instalaron bandejas de 10 x 10 en donde se encuentran los cables de potencia de cada uno de los motores eléctricos en la máquina Accela Cota, como el bombo de la cámara, el motor del recolector de polvos, la bomba de inyección de laca y el motor de la manejadora que inyecta aire al serpentín de calor.

En estas bandejas se encuentran las siguientes instalaciones.

- ❖ Cableado eléctrico de la red Ethernet de los PLC's y la pantalla.
- ❖ Cableado eléctrico de las acometidas eléctricas del motor del bombo.
- ❖ Cableado eléctrico de las acometidas eléctricas del motor de la bomba de dosificado de laca.
- ❖ Cableado eléctrico de las acometidas eléctricas del motor del Torit, colector de polvo.
- ❖ Cableado eléctrico de las acometidas eléctricas del motor de la turbina de aire de la manejadora.

- **Construcción de la botonera para el manejo del bombo.**

El bombo de laqueado adquirido por la empresa Farmacid tiene algunos años de edad, la fecha de fabricación es de 1998, las condiciones para realizar un control PI se han actualizado, el bombo actualmente tiene un control por botones y perillas utilizado en todo el control como se ve en la Figura 57, este proyecto remplazará la mayor parte de las funciones y las variables que se van a manipular desde un sistema HMI con el fin que todas se ingresen a los PLC's mediante la comunicación Profinet y no mediante cableado convencional en los pulsadores.



Figura 57 - Botonera original

Fuente: Autora (2017)

Para la nueva pantalla de procesos la cual se muestra en la Figura 58, es necesario modificar algunas condiciones en la botonera actual.



Figura 58 - Pantalla de procesos

Fuente: Autora (2017)

- ❖ Control de velocidad del motor de la cámara del bombo,
- ❖ Control de velocidad del motor de la bomba de inyección de laca,
- ❖ Control de velocidad del motor de aspiración (Torit).
- ❖ Control de temperatura en un sistema PI.

Todos estos parámetros anteriormente tuvieron otro control, un potenciómetro fue el encargado de controlar la velocidad de la cámara del bombo, la bomba de laca trabajó a velocidad constante, la velocidad del colector se manejó desde otro tablero y un tablero secundario controló la temperatura.

Adicional a la pantalla se habilitó varios botones, los cuales son críticos, como paro de emergencia, selector manual off y automático, selector de descarga de lotes, activación de la lámpara del bombo como se indica en la Figura 59.



Figura 59 - Partes de la botonera del bombo de laqueado ACCELA COTA

Fuente: Autora (2017)

- **Programación de los PLC's y la pantalla HMI.**

El conjunto de cualidades que requiere la producción como control de calidad de la empresa Farmacid, deben ser conjugadas con el fin de obtener la programación más adecuada para su funcionamiento.

La programación se realizó en el software de la marca siemens, tia portal versión 13 service pack 01, como la programación de PLC's 1212C, 1214C y el basic panel KTP 700, como se muestra en la Figura 60.



Figura 60 - Programación del sistema de control

Fuente: Autora (2017)

- **Instalación del circuito electro neumático del bombo.**

El circuito neumático es muy importante en la máquina ya que mediante este mecanismo se manipula el aire de pulverización, así como el control de las agujas y el circuito de protección para el paso de laca, en la Figura 61 se presenta el circuito neumático de la máquina restaurada.

La actividad de restauración contempla el cambio de mangueras, la instalación de nuevos manómetros, reguladores de presión y el control eléctrico de las electroválvulas.



Figura 61 - Circuito electro neumático del bombo

Fuente: Autora (2017)

- **Instalación del circuito electro neumático de la válvula proporcional.**

La instalación de una red de aire para el control de la válvula proporcional, debe ser calibrada máximo a 15 PSI para que la válvula no sufra ningún daño, así como el transductor de voltaje a presión como se muestra en la Figura 62.



Figura 62 - Circuito electro neumático de la válvula proporcional

Fuente: Autora (2017)

La instalación de una válvula proporcional debe ser realizada con teflón de alta temperatura y permatex, adicional a esto se debe colocar bridas en acero inoxidable para evitar la corrosión por causa del vapor y dilataciones térmicas en las bridas, la válvula proporcional se indica en la Figura 63.



Figura 63 - Válvula proporcional

Fuente: Autora (2017)

- **Instalación del cableado eléctrico de las botoneras y sensores.**

El sensor de temperatura utilizado es el modelo PT 100 en configuración de 3 hilos hacia el PLC's en el módulo signal board para PT 100, debido a que no tiene un manual específico del sensor se debe realizar las pruebas hasta que en la pantalla marque la misma temperatura que la cámara termografías Fluke 279 FC, en la Figura 64 muestra el sensor de temperatura PT100 y en la Figura 65 se indica las pruebas de medición realizadas.



Figura 64 - Sensor PT 100

Fuente: Autora (2017)



Figura 65 - Medición de temperatura

Fuente: Autora (2017)

- **Mantenimiento de las pistolas de pulverización**

El bombo de laqueado Accela Cota tiene como una de sus partes principales el conjunto de boquillas, a las cuales se debe realizar mantenimiento, en donde se cambia los empaques, se reemplazan piezas dañadas y se realizan pruebas de funcionamiento.

Para la puesta en marcha del bombo de laqueado se instalaron unas nuevas pistolas, las cuales se adquirieron a la empresa “Spray Sistem”, como se muestra en la Figura 66, además se reemplazó las mangueras de las pistolas, se colocaron mangueras de alta temperatura de carácter farmacéutico.



Figura 66 - Mantenimiento de pistolas de pulverización

Fuente: Autora (2017)

3.3.4. Configuración del control PI

Para la configuración del control PI por medio de una ecuación, se debe tomar en cuenta que el valor de salida del controlador proporcional varía en razón proporcional al tiempo en que ha permanecido el error y la magnitud del mismo, su función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_P \left(1 + \frac{1}{T_N \cdot s} \right)$$

Ecuación 1

Donde K_p es la ganancia proporcional y T_N se denomina tiempo de acción integral. Ambos valores son ajustables. El tiempo integral regula la velocidad de acción de control, mientras que una modificación en K_p afecta tanto a la parte integral como a la parte proporcional de la acción de control.

En la realización de este proyecto, se utilizó un PLC S7 1200 con CPU 1212 C el cual se observa en la Figura 67. Este PLC posee en su programa de usuario el “control PI”, el mismo que permite manejar las características de autoajuste de este control, con el fin de regular el grado de apertura de una válvula.



Figura 67 - PLC S7 1200 - CPU 1212 C

Manual de Siemens, SIMATIC S7, Controlador programable S7-1200 (2009)

Dentro del programa tía portal, se agrega un bloque para la configuración del control PI; en este se da clic en la barra de extensión de instrucciones en el ícono “PID Control” y a continuación aparece una ventana de opciones, en donde escogemos el control PI como se indica en la Figura 68.



Figura 68 - Ventana para opciones de llamada

Fuente: Autora (2017)

Después de realizada esta acción, en el editor de configuración, se realiza los ajustes básicos de temperatura en grados centígrados, como se observa en la Figura 69.

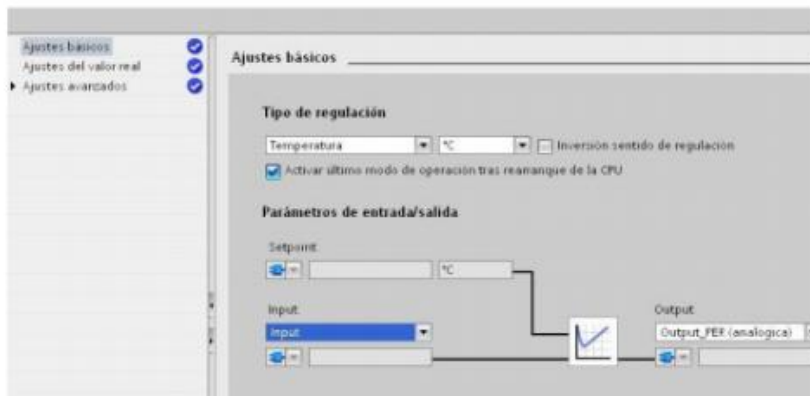


Figura 69 - Ventana de ajustes básicos

Fuente: Autora (2017)

Una vez que se terminó la configuración de los parámetros de temperatura, se procede a cargar el programa en el PLC.

3.4. Evaluación Financiera

En la Tabla 13 se puede observar el costo total por la implementación del proyecto; en este constan los valores por material, programación y mano de obra.

Tabla 13 - Costo por inversión

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Material requerido para la puesta en marcha del bombo de laqueado incluye: Elementos necesarios para el control proporcional del equipo, cables, driver, controladores, válvula proporcional, transductor, sensor de temperatura entre otros.	1	und.	\$ 18.843,86	\$ 18.843,86
Montaje del gabinete de control	1	und.	\$ 800,00	\$ 800,00
Instrumentación y propagación de los diferentes elementos	1	und.	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
Puesta en marcha del equipo	1	und.	\$ 800,00	\$ 800,00
Acometida eléctrica	1	und.	\$ 500,00	\$ 500,00
Prueba de funcionamiento y capacitación	1	und.	\$ 300,00	\$ 300,00
Planos - memoria técnica	1	und.	\$ 300,00	\$ 300,00

Subtotal	\$ 22.543,86
IVA (14%)	\$ 3.156,14
Valor Total	\$ 25.700,00

Fuente: Autora (2017)

3.4.1. Flujo de caja financiero

En la Tabla 14 se detalla el flujo de caja financiero correspondiente a los valores de ingresos y egresos del bombo de laqueado implementado, en un período de 12 meses; además se indica el tiempo de recuperación de la inversión realizada por la empresa Farmacid.

En la Figura 70 se puede apreciar la gráfica correspondiente a la recuperación de la inversión en meses vs usd.

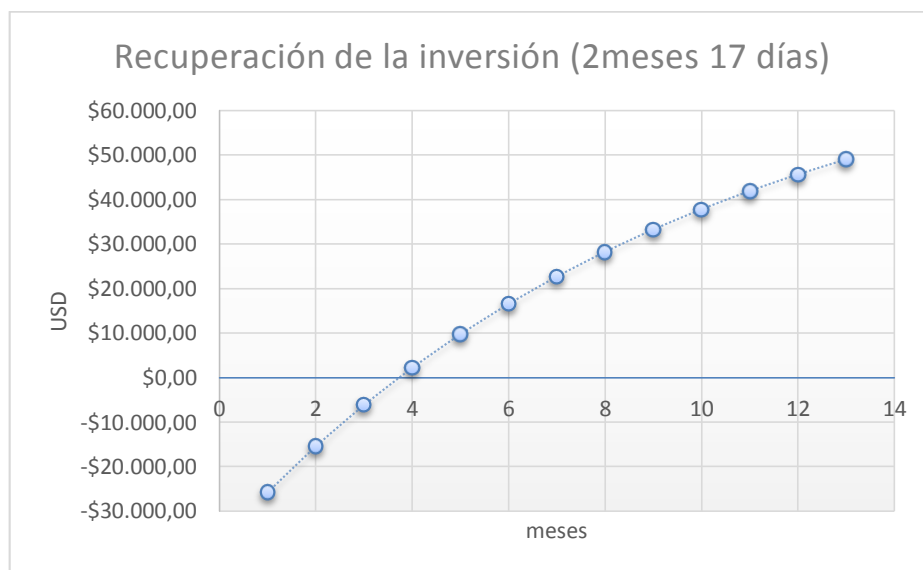


Figura 70 - Recuperación de la inversión

Fuente: Autora (2017)

Las tablas restantes correspondientes a los cálculos del costo de la implementación del proyecto, se encuentran adjuntos como anexos.

3.5. Pruebas de funcionamiento

En la Tabla 15 se muestra en detalle todas las pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento del bombo de laqueado ACCELA COTA.

Tabla 14 - Flujo de caja Financiera

Análisis de Sensibilidad		FLUJO DE CAJA FINANCIERO											
1,00		FLUJO DE CAJA FINANCIERO											
AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	2017	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
INGRESOS													
a) Ingresos	\$ -	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00
TOTAL INGRESOS	\$ -	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00	\$ 1.353.000,00
EGRESOS													
a) Costos de Operación y Mantenimiento		\$ 1.336.924,53	\$ 1.336.924,53	\$ 1.336.924,53	\$ 1.336.924,53	\$ 1.336.924,53	\$ 1.336.924,53	\$ 1.336.924,53	\$ 1.336.924,53	\$ 1.336.924,53	\$ 1.336.924,53	\$ 1.336.924,53	\$ 1.336.924,53
Sueldos y Salarios		\$ 13.627,30	\$ 13.627,30	\$ 13.627,30	\$ 13.627,30	\$ 13.627,30	\$ 13.627,30	\$ 13.627,30	\$ 13.627,30	\$ 13.627,30	\$ 13.627,30	\$ 13.627,30	\$ 13.627,30
Uniformes		\$ 512,67	\$ 512,67	\$ 512,67	\$ 512,67	\$ 512,67	\$ 512,67	\$ 512,67	\$ 512,67	\$ 512,67	\$ 512,67	\$ 512,67	\$ 512,67
Mantenimiento		\$ 408,56	\$ 408,56	\$ 408,56	\$ 408,56	\$ 408,56	\$ 408,56	\$ 408,56	\$ 408,56	\$ 408,56	\$ 408,56	\$ 408,56	\$ 408,56
Energía		\$ 2.376,00	\$ 2.376,00	\$ 2.376,00	\$ 2.376,00	\$ 2.376,00	\$ 2.376,00	\$ 2.376,00	\$ 2.376,00	\$ 2.376,00	\$ 2.376,00	\$ 2.376,00	\$ 2.376,00
Insumos		\$ 1.320.000,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.320.000,00
b) Gastos de Administración		\$ 2.504,48	\$ 2.504,48	\$ 2.504,48	\$ 2.504,48	\$ 2.504,48	\$ 2.504,48	\$ 2.504,48	\$ 2.504,48	\$ 2.504,48	\$ 2.504,48	\$ 2.504,48	\$ 2.504,48
c) Gastos Financieros		\$ 1.852,97	\$ 1.750,66	\$ 1.640,97	\$ 1.523,37	\$ 1.397,30	\$ 1.262,13	\$ 1.117,22	\$ 961,86	\$ 795,30	\$ 616,74	\$ 425,29	\$ 220,05
d) Depreciaciones		\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75
UTILIDAD NETA	\$ -	\$ 11.525,27	\$ 11.627,58	\$ 11.737,27	\$ 11.854,87	\$ 11.980,94	\$ 12.116,11	\$ 12.261,02	\$ 12.416,38	\$ 12.582,94	\$ 12.761,50	\$ 12.952,95	\$ 13.158,20
Depreciaciones		\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75
Inversiones Inicial	\$ 25.700,00												
Valor Residual o Salvamento	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FLUJO NETO	\$ (25.700,00)	\$ 11.718,02	\$ 11.820,33	\$ 11.930,02	\$ 12.047,62	\$ 12.173,69	\$ 12.308,86	\$ 12.453,77	\$ 12.609,13	\$ 12.775,69	\$ 12.954,25	\$ 13.145,70	\$ 13.350,95

INDICADORES	
Tasa de Descuento	12,00%
VAN	\$ 50.187,34
TIR	46,03%
Periodo de Recuperación de la Inversión	2 meses 17 días de operación

Fuente: Autora (2017)

Tabla 15 - Pruebas realizadas

	Tipo de pruebas	Descripción	Cumplimiento		Observación
			si	no	
1	Revisión de los rodamientos de cada uno de los motores	Pruebas termográficas.		x	Temperatura de 60° en rodamientos.
		Pruebas de corrientes.	x		
2	Revisión de continuidad de cables de acometidas de los motores	Revisar los 70 metros de acometida.	x		
		Medir continuidad y pruebas de corto circuito con analizador de cables.		x	Contacto a masa en el motor de la bomba de inyección.
		Medir resistencia de los bobinados en las terminales de los conductores en los tableros.		x	Marca 0 Ohmios en las terminales del cable.
3	Pruebas de comunicación de la red Ethernet	Revisar los 70 metros de longitud entre cables de comunicación.	x		
		Revisar código de colores de cada uno de los conductores para ser ponchado en el terminal RJ45.	x		
		Pruebas de comunicación en el profinet.	x		
		Revisión de la respuesta de cada uno de los elementos para la comunicación entre los dos PLC's y el HMI.		x	Problemas en la programación del sistema del bombo.
4	Pruebas de funcionamiento de las electroválvulas neumáticas	Revisar el sentido por donde circula el aire comprimido.		x	No se produce en cierre total del flujo del aire.
		Revisar si no existe virutas o residuos de en el solenoide y diferentes actuadores.	x		
		Revisar conexiones y fugas de aire comprimidos.	x		
5	Pruebas del funcionamiento de los variadores de frecuencia	Revisar la puesta en marcha de los variadores de frecuencia.		x	No cumple las condiciones deseadas.
		Revisar la lógica de funcionamiento de los variadores de frecuencia.		x	No se apaga el motor en la señal analógica cuando se encuentra en cero voltios.

		Revisar conexiones de señales de referencias de las salidas del PLC con las entradas de los drivers de los motores.	x		
		Revisión de protecciones de los motores.	x		
6	Pruebas del funcionamiento del sensor PT100	Adquirir brocas especiales para perforar inoxidable.	x		
		Verificar la conexión de los tres hilos del sensor.		x	No se presenta la señal en el HMI.
		Verificar si la señal es recibida e indicada en el HMI.		x	No se presenta la señal en el HMI.
7	Pruebas de funcionamiento del transductor para el control de la válvula proporcional	Verificar que la válvula tenga 100% de apertura.		x	La válvula no alcanza el 100% de apertura a la señal de 10 Voltios del PLC.
		Verificar que no existan fugas de vapor en la válvula proporcional.	x		
		Revisar la entrada de aire comprimido.	x		
8	Pruebas de funcionamiento del driver para el control del motor de la turbina	Revisar el correcto funcionamiento de los variadores de frecuencia.		x	El motor no alcanza su velocidad máxima a los 10 voltios de salida de la señal analógica.
		Revisar conexiones de señales de referencias de las salidas del PLC con las entradas de los driver de los motores.	x		
		Revisar las protecciones de los motores.	x		

Fuente: Autora (2017)

3.5.1. Acciones requeridas para la aprobación

❖ Revisión de los rodamientos de cada uno de los motores

○ Pruebas termográficas

Al realizar la medición de temperatura de los rodamientos de los motores se utilizó una cámara termográfica Fluke 279 fc, en donde se obtuvo un valor de 60°; con el fin de reducir la temperatura de los rodamientos se procedió a cambiar los mismos y se realizó mantenimiento a los motores. Después de realizado los cambios de rodamientos se tomó una nueva lectura cuyo valor fue de 35°, con lo cual esta prueba fue solventada.

❖ Revisión de continuidad de cables de acometidas de los motores

○ Medir continuidad y pruebas de corto circuito con analizador de cables

Al realizar las pruebas de continuidad y de corto circuito se encontró contacto a masa en el motor de la bomba de inyección. Al revisar se pudo constatar que las terminales en la bornera del motor son demasiado grandes, y al momento de cerrar la tapa, esta tiene contacto a masa, por lo cual se procedió a reemplazar las terminales dentro de la bornera del motor. Se realizaron nuevas pruebas en las que se verificó que no existe presencia de contacto a masa en el motor de la bomba de inyección.

○ Medir resistencia de los bobinados en las terminales de los conductores en los tableros

Al momento de medir la resistencia de los bobinados de los conductores de los tableros, estos marcaron 0 Ohmios en las terminales del cable; este inconveniente fue ocasionado por el contacto a masa generado en la tapa de la bornera del motor de la bomba, ya que crea un cortocircuito y se produce la resistencia a cero ohmios. Después de haber hecho el cambio de los terminales de la bornera del motor, este problema se solucionó.

❖ **Pruebas de comunicación de la red Ethernet**

- **Revisión de la respuesta de cada uno de los elementos para la comunicación entre los dos PLC's y el HMI**

Al revisar la respuesta de cada comando para la comunicación entre los dos PLC's y el HMI, se pudo observar que no existe comunicación. Se realizó la reprogramación de los errores y se cambió las direcciones de IP de cada uno de los PLC's y del HMI, con lo cual se corrigió el error de comunicación existente entre estos elementos.

❖ **Pruebas de funcionamiento de las electroválvulas neumáticas**

- **Revisar el sentido por donde circula el aire comprimido**

Al revisar el funcionamiento de las electroválvulas neumáticas, se halló, que no se produce un cierre total del flujo del aire. Se realizó la revisión de la hoja técnica de las electroválvulas y se cambió el sentido de flujo del aire comprimido, se realizaron nuevas pruebas en las que se solventó el problema.

❖ **Pruebas del funcionamiento de los variadores de frecuencia**

- **Revisar la puesta en marcha de los variadores de frecuencia y su lógica de funcionamiento**

Al hacer las pruebas con el variador de frecuencia, se halló con el problema de que no se apagó el motor cuando la señal analógica marcó cero voltios.

Se revisó las hojas técnicas de cada uno de los modelos de los variadores de frecuencias y se analizó cada uno de los parámetros necesarios para su correcto funcionamiento, con lo cual se manipuló cada uno de los parámetros necesarios y se volvió a calibrar y sincronizar la señal analógica de salida del PLC y las entradas de los variadores de frecuencia. Se realizaron nuevas pruebas de funcionamiento en las cuales al marcar cero voltios en la señal analógica el motor se detuvo.

❖ **Pruebas del funcionamiento del sensor PT 100**

- **Verificar la conexión de los tres hilos del sensor**

Al revisar la operación de la PT 100 se constató que no hay señal en el HMI. Se verificó y realizó el cambio de conexiones hasta obtener la información de la temperatura en la pantalla HMI.

- **Verificar si la señal es recibida e indicada en el HMI**

Después de corregir la instalación de la PT 100, se pudo recibir la información en el HMI; los valores marcados en el sistema fueron comparados con los de la cámara termográfica Fluke 279 fc y se realizó nuevamente la calibración en la programación de los PLC's.

❖ **Pruebas de funcionamiento del transductor para el control de la válvula proporcional**

- **Verificar que la válvula tenga 100% de apertura**

Al revisar el funcionamiento de la válvula proporcional se constató que dicha válvula no alcanzó el 100% de apertura a la señal de 10 voltios del PLC. Con el fin de solventar este error se realizó una nueva calibración a una presión máxima de 1,2 bares de aire comprimido, cuyo valor soporta la válvula proporcional.

Después de haber solventado los errores, se realizó nuevamente las pruebas de funcionamiento de los diferentes elementos que conforman la puesta en marcha del bombo de laqueado ACCELA COTA, en el cual se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 16.

Tabla 16 - Segunda prueba realizada

	Tipo de pruebas	Descripción	Cumplimiento		Observación
			Si	no	
1	Revisión de los rodamientos de cada uno de los motores	Pruebas termográficas.	X		Se reemplazó los rodamientos con lo cual se obtuvo una temperatura de 35°
		Pruebas de corrientes.	X		
2	Revisión de continuidad de cables de acometidas de los motores	Revisar los 70 metros de acometida.	X		
		Medir continuidad y pruebas de corto circuito con analizador de cables.	X		Se realizó el cambio de los terminales internos de la bornera del motor
		Medir resistencia de los bobinados en las terminales de los conductores en los tableros.	X		Se realizó el cambio de los terminales internos de la bornera del motor
3	Pruebas de comunicación de la red Ethernet	Revisar los 70 metros de longitud entre cables de comunicación.	X		
		Revisar código de colores de cada uno de los conductores para ser ponchado en el terminal RJ45.	X		
		Pruebas de comunicación en el profinet.	X		
		Revisión de la respuesta de cada uno de los elementos para la comunicación entre los dos PLC's y el HMI.	X		Reprogramación de los errores y cambio de las direcciones de IP de cada uno de los elementos
4	Pruebas de funcionamiento de las electroválvulas neumáticas	Revisar el sentido por donde circula el aire comprimido.	X		Se cambió el sentido de flujo de aire comprimido
		Revisar si no existe virutas o residuos de en el solenoide y diferentes actuadores.	X		
		Revisar conexiones y fugas de aire comprimidos.	X		
5	Pruebas del funcionamiento de los variadores de frecuencia	Revisar la puesta en marcha de los variadores de frecuencia.	X		Se calibró nuevamente la señal analógica de salida del PLC y las entradas de los variadores de frecuencia

		Revisar la lógica de funcionamiento de los variadores de frecuencia.	X		Se calibró nuevamente la señal analógica de salida del PLC y las entradas de los variadores de frecuencia
		Revisar conexiones de señales de referencias de las salidas del PLC con las entradas de los drivers de los motores.	X		
		Revisión de protecciones de los motores.	X		
6	Pruebas del funcionamiento del sensor PT100	Adquirir brocas especiales para perforar inoxidable.	X		
		Verificar la conexión de los tres hilos del sensor.	X		Se hizo nuevamente la conexión de la PT100
		Verificar si la señal es recibida e indicada en el HMI.	X		Se hizo nuevamente la conexión de la PT100
7	Pruebas de funcionamiento del transductor para el control de la válvula proporcional	Verificar que la válvula tenga 100% de apertura.	X		Se realizó una nueva calibración a una presión máxima de 1,2 bares
		Verificar que no existan fugas de vapor en la válvula proporcional.	X		
		Revisar la entrada de aire comprimido.	X		
8	Pruebas de funcionamiento del driver para el control del motor de la turbina	Revisar el correcto funcionamiento de los variadores de frecuencia.	X		
		Revisar conexiones de señales de referencias de las salidas del PLC con las entradas de los driver de los motores.	X		
		Revisar las protecciones de los motores.	X		

Fuente: Autora (2017)

SECCION IV

4.1. Conclusiones

- Mediante el diseño e implementación del control PI del bombo de laqueado ACCELACOTA, y después del estudio realizado, se cumplió con los requerimientos de calidad por parte de la empresa Farmacid S.A.
- La investigación realizada en el proceso de laqueado de grageas y el funcionamiento del bombo cumplió con el levantamiento de cada uno de los requisitos que necesita el proceso en particular para la planta industrial Farmacid, como variación de cada uno de los parámetros durante todo el proceso.
- Después de realizar el levantamiento de los procesos con el área de control de calidad de la empresa Farmacid, se concluyó que el sistema “Proporcional – Integral” es el más adecuado, debido a que los cambios de temperatura dentro del bombo no deben ser pronunciados a fin de tener un correcto proceso de laqueado.
- Se implementó el montaje de variadores de frecuencia para cada uno de los motores, con el fin de controlar el flujo de laca y la velocidad de la cámara del bombo de laqueado obteniendo resultados positivos en las pruebas realizadas.
- Una vez que se realizó la entrega del proyecto a la empresa Farmacid, se procedió con la capacitación del personal operativo de la máquina, en el cual se realizó el primer lote; la rápida captación de la inducción, deja concluir que el programa realizado para la pantalla (interfaz HMI), permite la manipulación por intuición del operador como de cualquier persona que no tenga conocimiento previo del proceso.
- Se colocó una red de UPS el cual sirve como respaldo energético para impedir daños en el proceso y accidentes laborales y así mantener la información necesaria del sistema requerido, como electroválvulas, las cuales permiten la circulación de aire comprimido por aproximadamente una hora, según solicitud del cliente, hasta que entre en operación el equipo electrógeno a fin de evitar pérdidas en el lote por goteo de laca.

4.2. Recomendaciones

- Se debe realizar un precalentamiento de la cámara del bombo de laqueado como de los comprimidos que corresponden al lote con el fin de que la laca se adhiera de una forma uniforme.
- Se debe monitorear la temperatura de los comprimidos con un pirómetro y cuando se encuentre a una temperatura de 40° centígrados se debe iniciar el proceso.
- Se debe calibrar la altura de las pistolas de pulverización de la laca ya que si se encuentra muy separadas toda la laca será absorbida por el sistema de absorción de polvo y se desperdicia material sin su objetivo.
- Para el descargue una vez finalizado el lote se colocó un sistema automático de descarga con un pulsador el mismo que solo funciona en modo manual; se debe colocar la tolva de descarga y un recipiente ya que de lo contrario todo el lote puede terminar en el suelo.
- Para apagar el sistema es necesario colocar la perilla de selección de automático- off-manual en off, no se recomienda apagar el sistema en su totalidad, ya que tiene dos fuentes de alimentación una a 220V y otra a 440V, si se apaga solo uno quedan señales flotantes que pueden dañar los motores y los drivers de los mismos.
- El UPS debe mantenerse prendido durante todo el tiempo y debe ser apagado únicamente cuando se realice mantenimiento del equipo ya que evita la presencia de transientes en el circuito de control, caídas de tensión, sobre voltaje entre otros.
- Si la bomba de laca impulsa el producto por un tiempo promedio de 5 minutos se recomienda cebar la misma con el producto o aumentar la velocidad, así como revisar la válvula de seguridad y la presencia de aire comprimido en la máquina.
- La presencia de un operador durante todo el proceso es fundamental ya que la distribución de la laca puede ser afectada por cristalización de la misma en las pistolas taponado la circulación de la misma y la uniformidad, por lo cual esta debe ser removida manualmente por el operador.
- Al realizar la limpieza de las pistolas, se debe tener mucho cuidado con la manipulación de las agujas que contienen estas, ya que el diámetro es de 0,8 mm y se pueden romper con mucha facilidad: hay que tomar en cuenta que estas agujas son difíciles de construir o adquirir.

4.3. Bibliografía

- Hidalgo, K. (2012). Estudio, diseño e implementación de un laboratorio y guía de prácticas con PLCs para la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Israel. (Trabajo de grado). Universidad Israel, Quito, Ecuador.
- SIEMENS AG (2009). Manual SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200. Alemania.
- Cortés P. (2011). Material para la asignatura de programación de PLC. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- FESTO. (2017). Trainer Package SIMATIC Basic Panel KTP700.
Recuperado de: <http://www.festo-didactic.com/int-es/learning-systems/mps-sistema-de-produccion-modular/control-redes/con-siemens-s7/trainer-package-simatic-basic-panel-ktp700.htm?fbid=aW50LmVzLjU1Ny4xNC4xOC42MTAuODIwMQ>
- Arias, J. (2017). Introducción a la programación de PLC S7-1200
Recuperado de: <https://profejuandotcom.files.wordpress.com/2014/02/introduccion-plc-siemens-simatic-s7-1200.pdf>
- UTO – DTIC. (2013). Introducción a la Instrumentación.
Recuperado de: http://docentes.uto.edu.bo/xtapiag/wp-content/uploads/CAPITULO_1_ELT3842nuevo.pdf
- Geocities.ws. (2014). Controladores y acciones de control.
Recuperado de: <http://www.geocities.ws/joeldupar/control2/pid>
- Red ULA. Web del profesor. Controladores PID
Recuperado de:
http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/ocamacho/sistemas%20de%20control/CAPITULO_%202.pdf
- Arian Control & Instrumentación. Pt100, su operación, instalación y tablas.
Recuperado de: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
- Creus, A. (2011). “Instrumentación Industrial”. México D.F.: PEARSON.
- IEEE Sección Argentina. (2017). Introducción a Ethernet Industrial.
Recuperado de: <http://www.ieee.org.ar/downloads/Romero-Eth-Ind.pdf>
- Electrical Dealer. (2015). Transductores de corriente a presión.
Recuperado de: <http://www.electrical-dealer.com/producto/179>
- L-force Communication. (2011). Ethernet en aplicaciones industriales. Alemania.

- Cuerpo de Bomberos Quito. (2014). Prevención de incendios: Reglas técnicas básicas.
- IEEE Standard 142. (2007). Grounding of Industrial And Commercial Power Systems.
- NEC Capítulo 15. (2013). Instalaciones Electromecánicas
- UNED. (2007). Controladores PID.
Recuperado de: <http://www.dia.uned.es/~fmorilla/MaterialDidactico/El%20controlador%20PID.pdf>
- Demo E- Ducativa Cstedu. (2016). Controlador de acción proporcional e integral (PI).
Recuperado de: http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4926/html/13_controlador_de_accin_proporcional_e_integral_pi.html
- Izquierdo J. (2011). Controladores PI con acción de reset. (Proyecto final de carrera). Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, España.
- GRUP DAT. (2010). Profinet.
Recuperado de: <http://www.grupdap.es/ficheros/descrip-tecnicas/Profinet-2006.pdf>
- SIEMENS AG (2009). S7-1200 Guía de transición. Alemania.

ANEXOS

Anexo 1 Evaluación Financiera

GASTOS ADMINISTRATIVOS

GASTOS ADMINISTRATIVOS					
1.ENERGIA ELECTRICA	UNID	CANTID.	VALOR	TOTAL	OBSERVACION
Energía Eléctrica	Mes	26.400	0,09	2.376,00	
TOTAL				\$ 2.376,00	AL AÑO
2.TELEFONO Y SISTEMAS DE COMUNICACION	UNID	LINEA	VALOR	TOTAL	OBSERVACION
1 línea	Mes	12	25,00	\$ 300,00	AL AÑO
3.AGUA POTABLE	UNID	CANTID.	VALOR	TOTAL	OBSERVACION
Agua Potable (consumo total)	Mes	12	40,00	480,00	AL AÑO
Alcantarillado	Mes	12	15,00	180,00	
Desechos sólidos		12	5,00	60,00	
TOTAL				\$ 720,00	AL AÑO
4.MANTENIMIENTO DEL EDIFICIO	UNID	CANTID.	VALOR	TOTAL	OBSERVACION
Control de desagues	Unid	12	20,00	240,00	
Limpieza de cubiertas	Unid	12	20,00	240,00	
Pintura interna y fachada	Unid	2	100,00	200,00	
TOTAL				\$ 680,00	AL AÑO
5. SUMINISTROS DE OFICINA	UNID.	CANTID.	VALOR	TOTAL	OBSERVACION
COMPUTACION					
Papel A4	paq.	10	4,00	40,00	
TONERS	unid.	4	30,00	120,00	
CDS	caja	1	30,00	30,00	
ADMINISTRACION					
Archivadores Bene	unid.	30	3,00	90,00	
Vinchas	caja	15	1,00	15,00	
Clips	caja	30	0,50	15,00	
Borradores	unid.	30	0,20	6,00	
Esferoográficos	unid.	30	0,20	6,00	
Lápices	unid.	30	0,10	3,00	
Carpetas (folders)	unid.	30	0,20	6,00	
Carpetas colgantes	unid.	30	1,00	30,00	
Libros contables	unid.	5	1,00	5,00	
Líquido Corrector	unid.	10	1,00	10,00	
Grapas	caja	10	1,00	10,00	
Resaltadores	unid.	20	0,50	10,00	
Marcadores	unid.	24	0,50	12,00	
Cinta scotch	unid.	24	0,52	12,48	
Cinta masking	unid.	24	1,00	24,00	
Varios	unid.	12	30,00	360,00	
TOTAL				\$ 804,48	AL AÑO
Flete	UNID	CANTID.	VALOR	TOTAL	OBSERVACION
Flete	Mes	12	0,00	0,00	
TOTAL				\$ 0,00	AL AÑO
TOTAL				\$ 2.504,48	

Fuente: Autora (2017)

SUELDOS

Remuneraciones Incluido Beneficios de Ley								
PERSONAL	Cantidad	Turnos	Tiempo				Salario Real Incluido Cargas Sociales (Mensual)	
			Salario Unificado	IESS	FR	XIII		XIV
				12,15%	8,33%	8,33%	\$ 366,00	
oporativo								
Operador	1	3	600,00	72,90	50,00	50,00	30,50	\$ 2.410,20
Control de Calidad	2	3	700,00	85,05	58,33	58,33	30,50	\$ 5.593,30
Bodeguero	2	3	500,00	60,75	41,67	41,67	30,50	\$ 4.047,50
Supervisor	1	1	1.200,00	145,80	100,00	100,00	30,50	\$ 1.576,30
Total								\$ 13.627,30

Fuente: Autora (2017)

DEPRECIACIONES

DEPRECIACIONES																			
Activos	Unidad	Valor de Adquisición	Vida útil	Valor Residual (%)	Residual	Cuota	Años												
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Maquinaria		USD			USD	Depreciacion	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Bombo de Laqueado	1	\$ 25.700,00	10	10%	\$ 2.570,00	\$ 2.313,00	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	
Total							\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	\$ 192,75	
Valor de Salvamento																			
Activos							Años												
							0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bombo de Laqueado							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	257,00
Total							\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$257,00

Fuente: Autora (2017)

TABLA DE AMORTIZACIÓN – CUOTA FIJA

Datos				Fórmula
Deuda Inicial	\$ 25.700,00			$i(1+i)^n / (1+i)^n - 1$
n	12	Años	Tanto por Uno	0,166248914
i	7,21%	Anual	0,0721	1,30581018

TABLA DE AMORTIZACION CUOTA FIJA				
Periodo Meses	CUOTA	INTERES	CAPITAL	SALDO DEUDA
0				\$ 25.700,00
Enero	\$ 3.271,99	\$ 1.852,97	\$ 1.419,02	\$ 24.280,98
Febrero	\$ 3.271,99	\$ 1.750,66	\$ 1.521,33	\$ 22.759,65
Marzo	\$ 3.271,99	\$ 1.640,97	\$ 1.631,02	\$ 21.128,63
Abril	\$ 3.271,99	\$ 1.523,37	\$ 1.748,62	\$ 19.380,02
Mayo	\$ 3.271,99	\$ 1.397,30	\$ 1.874,69	\$ 17.505,33
Junio	\$ 3.271,99	\$ 1.262,13	\$ 2.009,86	\$ 15.495,47
Julio	\$ 3.271,99	\$ 1.117,22	\$ 2.154,77	\$ 13.340,70
Agosto	\$ 3.271,99	\$ 961,86	\$ 2.310,12	\$ 11.030,58
Septiembre	\$ 3.271,99	\$ 795,30	\$ 2.476,68	\$ 8.553,90
Octubre	\$ 3.271,99	\$ 616,74	\$ 2.655,25	\$ 5.898,64
Noviembre	\$ 3.271,99	\$ 425,29	\$ 2.846,70	\$ 3.051,94
Diciembre	\$ 3.271,99	\$ 220,05	\$ 3.051,94	\$ 0,00

Fuente: Autora (2017)

COSTO HORARIO DE OPERACIÓN

COSTO HORARIO DE OPERACION	
DESCRIPCION	DOLARES HORA
I COSTOS FIJOS	0,91
1.1 DEPRECIACION	0,91
1.2 INVERSION	0,91
1.3 SEGUROS, Matrículas, ETC.	0,34
II COSTOS DE OPERACION	1,55
2.1 MANTENIMIENTO	0,55
2.2 COMBUSTIBLE	0,00
2.3 ACEITES	1,00
TOTAL CALCULADO	2,46
TOTAL SIN DEPRECIACION	1,55
VALORES CONSIDERADOS:	
(Va) COSTO MAQUINARIA (dolares \$)	25.700,00
(Vv) VALOR RESIDUAL (dolares \$)	6.425
(Vu) VIDA UTIL (años)	10
DIAS DE TRABAJO AL AÑO	264
HORAS DE TRABAJO POR DIA	8
CONSUMO DE COMBUSTIBLE/DIA (galones)	0
ACEITE (MOTOR, TRANSMISION, HIDRAULICOS) (gal/hora)	0,05
LLANTAS (juego / año)	0,0
COSTO LLANTAS (dolares c/u)	0
COSTO COMBUSTIBLE (DIESEL)(dolares / galones)	1,04
COSTO GALON DE ACEITE (dolares)	20,0
(s) INTERES SEGUROS ANUAL	4,5%
(i) INTERES ANUAL	12,00%
NOTA:	
- Depreciacion=(Va-Vv)/Vu-horas	
- Inversion = (Va+Vv)*i/2 * horas-año	
- Seguros = (Va+Vv)*s/2*horas-año	
CARACTERISTICAS DEL EQUIPO	
Capacidad: 900 LIBRAS	

Fuente: Autora (2017)

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

AÑOS DE VIDA UTIL	AÑO	Personal Total	Sueldos y Salarios	Uniformes	Mantenimiento	Energía	Insumos	TOTAL
0	2016							
1	Enero	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
2	Febrero	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
3	Marzo	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
4	Abril	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
5	Mayo	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
6	Junio	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
7	Julio	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
8	Agosto	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
9	Septiembre	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
10	Octubre	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
11	Noviembre	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
12	Diciembre	16	\$ 13.627,30	\$ 512,67	\$ 408,56	\$ 2.376,00	\$ 1.320.000,00	\$ 1.336.924,53
Totales								\$ 13.369.245,29

Uniformes	Precio Unitario	Cantidad Añual	Total
Pantalón Jean	\$ 30.00	1	\$ 30.00
Toca	\$ 5.00	4	\$ 20.00
Camiseta	\$ 12.00	4	\$ 48.00
Chompa Jean	\$ 25.00	1	\$ 25.00
Chompa de Aguas	\$ 5.00	4	\$ 20.00
Zapatones	\$ 45.00	1	\$ 45.00
Gafas de Seguridad	\$ 6.00	4	\$ 24.00
Chalecos Reflexivos	\$ 4.00	4	\$ 16.00
Guantes	\$ 10.00	4	\$ 40.00
Mascarillas	\$ 40.00	2	\$ 80.00
Total			384,5

Insumos	Precio Unitario	Cantidad Meses	Total por Lote	Total por Lote Anual
Laca (Litros)	\$ 15,00	200	3000	198000
Comprimidados (Libras)	\$ 85,00		17000	1122000
Total			\$ 20.000,00	\$ 1.320.000,00

Fuente: Autora (2017)

INGRESOS

INGRESOS				
Tiempo por mes	AÑO	Cantidad	Precio Unitario (Lote)	Ingresos Totales
0	2016			
1	Enero	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
2	Febrero	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
3	Marzo	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
4	Abril	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
5	Mayo	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
6	Junio	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
7	Julio	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
8	Agosto	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
9	Septiembre	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
10	Octubre	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
11	Noviembre	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
12	Diciembre	200	\$ 102,50	\$ 1.353.000,00
				\$ 16.236.000,00

Fuente: Autora (2017)

PERÍODO DE RECUEPRACIÓN DE LA INVERSIÓN

Tasa de Descuento 12,00% 0,12

Flujo de Caja Financiero													
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Beneficios	\$0,00	\$1.353.000,00	\$1.353.000,00	\$1.353.000,00	\$1.353.000,00	\$1.353.000,00	\$1.353.000,00	\$1.353.000,00	\$1.353.000,00	\$1.353.000,00	\$1.353.000,00	\$1.353.000,00	\$1.353.000,00
Egresos (Incluido Gastos Financieros)	\$25.700,00	\$1.341.474,73	\$1.341.372,42	\$1.341.262,73	\$1.341.145,13	\$1.341.019,06	\$1.340.883,89	\$1.340.738,98	\$1.340.583,62	\$1.340.417,06	\$1.340.238,50	\$1.340.047,05	\$1.339.841,80
Flujo Neto	-\$25.700,00	\$11.525,27	\$11.627,58	\$11.737,27	\$11.854,87	\$11.980,94	\$12.116,11	\$12.261,02	\$12.416,38	\$12.582,94	\$12.761,50	\$12.952,95	\$13.158,20
Factor de Actualización	1,000	0,893	0,797	0,712	0,636	0,567	0,507	0,452	0,404	0,361	0,322	0,287	0,257
Flujo Neto Actualizado	-\$25.700,00	\$10.290,42	\$9.269,44	\$8.354,36	\$7.533,98	\$6.798,31	\$6.138,40	\$5.546,26	\$5.014,77	\$4.537,53	\$4.108,86	\$3.723,66	\$3.377,38
Flujo Neto Actualizado Acumulado	-\$25.700,00	-\$15.409,58	-\$6.140,14	\$2.214,21	\$9.748,20	\$16.546,50	\$22.684,90	\$28.231,16	\$33.245,93	\$37.783,46	\$41.892,33	\$45.615,99	\$48.993,37

Periodo de Recuperación de la Inversión	2 meses 17 días de operación
---	------------------------------

Fuente: Autora (2017)

Anexo 2 Manual de Usuario

Anexo 3 Manual Técnico

Anexo 4 Programación

Anexo 5 Certificado Auspicio del Proyecto

Quito, 31 de enero de 2017

La Empresa Grupo SOLEMEEC presenta sus más atentos saludos a La Universidad Tecnológica Israel y tiene el honor de comunicarse para lo detallado a continuación:

Mediante la presente nota deseamos manifestar nuestro apoyo y auspicio al tema de Tesis "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL PID PARA UN BOMBO DE LAQUEADO" a desarrollarse por la Sra. Tlga. Jenny Johanna Galán Villacrés con C.I. Nº 1718857590 para nuestra empresa en la Ciudad de Quito - Ecuador, el mismo que ratificamos solventaremos en su totalidad.

Atentamente,



Ing. Carlos Granda

Presidente Grupo SOLEMEEC

SOLEMEEC
RUC. 1718857590001

Anexo 6 Certificado Entrega del Proyecto

Quito, 10 de abril de 2017

ACTA DE ENTREGA PROYECTO

La empresa Grupo Ingeniería Solemeec, con sede en la ciudad de Quito, recibe formalmente culminado el proyecto, según lo acordado, el cual incluye el siguiente alcance:

- Diseño e Implementación de un control PID para el bombo de laqueado Accela Cota;
 - o Puesta en marcha de sistema de calentamiento;
 - o Instalación de sistema PI para calentamiento;
 - o Control de velocidad de la cámara del bombo;
 - o Control de inyección de laca;
 - o Sistema de respaldo de energía para el sistema de control eléctrico;
 - o Control del caudal de aspiración de la máquina Torit;

La empresa Solemeec recibe en total funcionamiento los trabajos antes detallados, los mismos que fueron realizados en la planta de FARMACID por la Tlga. Jenny Johanna Galán Villacrés, cumpliendo con todos los materiales y servicios profesionales acordados.

Firman ambas partes en aceptación de lo antes mencionado.

SOLEMEEC



Ing. Carlos Granda

Presidente

ESTUDIANTE



Tlga. Jenny Galán

SOLEMEEC
RUC. 1718857590001

Teléfono: 0999-208-759 / 0969-016-700

e-Mail: solemeec@gmail.com

Anexo 7 Antiplagio

Programación PLC CPU 1214 C

Programación PLC CPU 1212 C

Programación pantalla táctil (HMI)