



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

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED PROFIBUS PARA EL
CONTROL DE UNA BANDA TRANSPORTADORA EN EL
PROCESO DE CALENTAMIENTO Y REACTIVACIÓN DEL
PEGAMENTO EN EL CAUCHO, MEDIANTE UN SISTEMA
SEGUIDOR DE TEMPERATURA Y EXTRACCIÓN DE GASES”**

TRABAJO DE TITULACIÓN: PROYECTO TÉCNICO

Para optar al Grado Académico de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTORES: FERNANDA JANETH FONSECA NAVAS

MICHAEL ESTEFANIA JÁTIVA BRITO

TUTOR: ING. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA

Riobamba – Ecuador

2018

©2018, Fernanda Janeth Fonseca Navas, Michael Estefanía Játiva Brito.

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

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica, el trabajo de tipo: Proyecto Técnico “IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED PROFIBUS PARA EL CONTROL DE UNA BANDA TRANSPORTADORA EN EL PROCESO DE CALENTAMIENTO Y REACTIVACIÓN DEL PEGAMENTO EN EL CAUCHO, MEDIANTE UN SISTEMA SEGUIDOR DE TEMPERATURA Y EXTRACCIÓN DE GASES”, de responsabilidad de las Señoritas Fernanda Janeth Fonseca Navas y Michael Estefanía Játiva Brito, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Julio Santillán C. VICEDECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	_____	_____
Ing. Marco Viteri B. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Fernando Mejía P. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

“Nosotras **FERNANDA JANETH FONSECA NAVAS** y **MICHAEL ESTEFANÍA JÁTIVA BRITO**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”.

Fernanda Janeth Fonseca Navas

Michael Estefanía Játiva Brito

DEDICATORIA

De manera muy especial quiero dedicar este trabajo de titulación en primer lugar a Dios, por darme la vida y llenarme de bendiciones, a mis amados padres Nicanor y Piedad que con su amor infinito a sus hijos supieron sacarnos adelante frente a toda adversidad, siendo grandes ejemplos a seguir y luchando cada día por nuestra superación. A mis hermanos Walter, Miryan y Sandra que han estado presentes en los malos y buenos momentos, brindándome su apoyo incondicional y sus sabios consejos, de igual manera al amor puro que solo mis sobrinos pueden brindarme, y deseo que ellos también lleguen a ser profesionales en su vida, finalmente y no menos importante a Cristhyan, por estar a mi lado y brindarme su ayuda sin esperar nada a cambio, esto es para ustedes.

Fernanda Fonseca

Es mi mayor dicha poder dedicar el presente trabajo de titulación a mi Santa Laura Montoya, por sus infinitos cuidados y bendiciones recibidas, a todas las personas que me acompañaron en este camino que hoy llega a su fin, de manera especial a mi hermosa familia, mi madre Isabel Marisol, mi padre Raúl Alberto y a mi hermano Sebastián Alejandro, por estar a mi lado en cada paso que he dado durante 24 años y enseñarme la importancia de luchar por mis metas, a mi querida tía Sarita Leonor, por ser una segunda madre para mí y apoyarme cuando la he necesitado, y por último y no menos importante a una persona que siempre me regalo su tiempo, su generosidad, su cariño y sus consejos, mi irremplazable tío Luis Adolfo, que a pesar de su limitaciones, nunca dejo de ser ese joven soñador y fuerte, siempre serás el primer electrónico de la familia tío; este triunfo es para ustedes.

Michael Játiva

AGRADECIMIENTO

Queremos dar las gracias a Dios por permitirnos alcanzar nuestra meta y haber puesto en nuestro camino a personas que en todo momento nos apoyaron incondicionalmente, a nuestros padres quienes son la razón de este triunfo ya que nos apoyaron en toda nuestra vida universitaria.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión para servicio de la sociedad y el país.

Agradecemos al Ing. Marco Viteri y al Ing. Fernando Mejía, Director y miembro del trabajo de titulación respectivamente por permitirnos recurrir a su capacidad y experiencia para encaminar con éxito el presente trabajo.

FERNANDA Y MICHAEL

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
TABLA DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
INDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XIV
ÍNDICE DE ECUACIONES	XV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVI
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	XVII
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT	XIX
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	6
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	6
1.1 Proceso del Calentamiento y Reactivación del Pegamento en el Caucho	6
<i>1.1.1 Factores que intervienen en el proceso de la reactivación</i>	<i>7</i>
<i>1.1.2 Descripción de la maquinaria para el proceso de reactivación.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.3 Proceso de Pegado.....</i>	<i>8</i>
1.2 Sistemas de Extracción de Gases	9
<i>1.2.1 Sistemas de Extracción Localizadas.....</i>	<i>10</i>
1.3 Automatización Industrial.....	10
<i>1.3.1 Objetivos de la automatización industrial</i>	<i>11</i>
<i>1.3.2 Niveles de la automatización.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.2.1 Nivel 0 o nivel de campo</i>	<i>12</i>
<i>1.3.2.2 Nivel 1 o nivel de control</i>	<i>12</i>
<i>1.3.2.3 Nivel 2 o nivel de supervisión</i>	<i>13</i>
<i>1.3.2.4 Nivel 3 o nivel de planificación.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.2.5 Nivel 4 o nivel de gestión</i>	<i>13</i>
1.4 Red Profibus	13
<i>1.4.1 Características generales de Profibus</i>	<i>14</i>

1.4.2	<i>Diferencias entre un sistema Profibus y un sistema convencional</i>	15
1.4.3	<i>Arquitectura de la Red Profibus</i>	16
1.4.4	<i>Normalización de Profibus</i>	17
1.4.5	<i>Perfiles del protocolo Profibus</i>	17
1.4.5.1	<i>Profibus DP</i>	18
1.4.5.2	<i>Profibus PA</i>	18
1.4.5.3	<i>Profibus FMS</i>	18
1.4.5.4	<i>Diferencia de los perfiles de Profibus</i>	19
1.4.6	<i>Medios de acceso a Profibus</i>	19
1.4.6.1	<i>Paso de Testigo (token bus)</i>	19
1.4.6.2	<i>Maestro – testigo por sondeo (polling)</i>	20
1.4.7	<i>Topología de la red Profibus</i>	21
1.4.7.1	<i>Red eléctrica</i>	21
1.4.7.2	<i>Red óptica</i>	21
1.4.8	<i>Análisis Cualitativo de los Protocolos de Red Industriales</i>	22
1.5	<i>Controlador Lógico Programable</i>	23
1.5.1	<i>Definición</i>	23
1.5.2.	<i>Aplicaciones del PLC</i>	23
1.5.3.	<i>Ventajas y Desventajas de un PLC</i>	24
1.5.3.1.	<i>Ventajas:</i>	24
1.5.3.2.	<i>Desventajas:</i>	25
1.5.4.	<i>Estructura de un PLC</i>	25
1.5.4.1.	<i>Procesador</i>	26
1.5.4.2.	<i>Memoria</i>	26
1.5.4.3.	<i>Interfaz de entrada</i>	26
1.5.4.4.	<i>Interfaz de salida</i>	27
1.5.4.5.	<i>Alimentación</i>	27
1.5.5.	<i>Funcionamiento del PLC</i>	27
1.5.5.1.	<i>Tiempo de barrido</i>	27
1.5.5.2.	<i>Modos de funcionamiento del controlador twido</i>	28
1.5.5.3.	<i>Comprobación de tiempo de ciclo</i>	29
1.6	<i>Interfaz Humano Máquina (HMI)</i>	29
1.6.1	<i>Tipos de HMI</i>	30
1.6.2.	<i>Funciones de la HMI</i>	30
1.7	<i>Variador de Frecuencia</i>	30
1.7.1	<i>Componentes del variador de frecuencia</i>	31
1.8	<i>Sistemas de Bandas Transportadoras</i>	32

1.8.1	Áreas de desempeño de las bandas transportadoras	33
1.8.2	Ventajas de las bandas transportadoras	34
1.8.3	Tipos de bandas transportadoras	34
1.8.4	Banda Plástica Modular Intralox	35
1.8.4.1	Características generales de la banda plástica modular Intralox	35
1.9	Componentes Electrónicos del Sistema	36
1.9.1	Sensores	36
1.9.1.1	Estructura de un sensor	36
1.9.1.2	Tipos de Sensores	37
1.9.2	Elementos de Protección	37
1.9.2.1	Ventajas de la utilización de elementos de protección	38
1.9.2.2	Tipos de elementos de protección	38
1.9.2.3	Breaker Termomagnético de Schneider Electric	39
1.9.3	Elementos de mando	40
1.9.3.1	Pulsadores	40
1.9.3.2	Selectores	40
1.9.4	Elementos de Señalización	41
CAPITULO II		42
2.	MARCO METODOLÓGICO	42
2.1	Introducción	42
2.2.	Descripción del proceso	43
2.3.	Selección de elementos	44
2.3.1.	Selección del PLC	44
2.3.2.	Selección del HMI	46
2.3.3.	Selección del variador de frecuencia	47
2.3.4.	Selección de módulo Maestro – Profibus	48
2.3.5.	Selección de sensores	50
2.4.	Diseño e implementación de la red Profibus	52
2.4.1.	Esquema de la conexión del variador al módulo maestro	52
2.4.2.	Implementación de la Red Profibus	53
2.5.	Diseño e implementación del prototipo de reactivación del pegamento	54
2.5.1.	Diseño mecánico	54
2.5.2.	Visualización virtual del prototipo	56
2.5.3.	Diseño eléctrico	57
2.5.3.1.	Dimensionamiento del calibre de la acometida principal	57
2.5.3.2.	Dimensionamiento de los conductores de control	59

2.5.3.3.	<i>Dimensionamiento del breaker</i>	59
2.5.4.	<i>Sistema de control por histéresis</i>	60
2.6.	Programación del controlador lógico programable	60
2.6.1.	<i>Entorno de programación Tia Portal</i>	60
2.6.2.	<i>Configuración del PLC</i>	62
2.6.2.1.	<i>Módulo de expansión analógico</i>	63
2.6.2.2.	<i>Módulo de comunicación Profibus</i>	64
2.6.2.3.	<i>Variador de frecuencia</i>	65
2.6.2.4.	<i>Instalación del archivo GSD</i>	65
2.6.3.	<i>Configuración dispositivos y redes</i>	67
2.6.4.	<i>Adquisición de datos de los acondicionadores de señal</i>	69
2.6.5.	<i>Ecuación de la recta para el control de la temperatura y velocidad</i>	70
2.6.6.	<i>Programación de la comunicación Profibus</i>	72
2.6.6.1.	<i>Algoritmo de comunicación</i>	72
2.6.6.2.	<i>Palabras de estado</i>	73
2.6.6.3.	<i>Transmisión de Datos vía Profibus</i>	74
2.7.	Diseño e implementación de la interfaz gráfica HMI	77
2.7.1.	<i>Pantallas de la HMI</i>	79
2.8.	Esquema Final del Proceso	83
CAPITULO III		85
3.	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS	85
3.1	Introducción	85
3.2	Validación de la configuración del sistema	85
3.3	Visualización de las palabras de estado de la comunicación Profibus	87
3.4	Adquisición y comportamiento de datos	89
3.4.1	<i>Extracción de datos por LabVIEW</i>	89
3.4.2	<i>Análisis de la Variable Temperatura</i>	90
3.4.3	<i>Análisis de la Variable Velocidad</i>	98
3.5	Análisis de Costos	101
CONCLUSIONES		103
RECOMENDACIONES		104
BIBLIOGRAFÍA		1
ANEXOS 6		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Características de Profibus FMS-DP-PA.....	19
Tabla 2-1: Análisis cualitativo de los protocolos de red industrial.....	22
Tabla 1-2: Características del PLC Siemens S7-1215 AC/DC/RLY.....	45
Tabla 2-2: Características de la HMI KTP-700 Basic	46
Tabla 3-2: Características del variador ATV-312.....	48
Tabla 4-2: Características del módulo maestro Siemens CM 1243-5.....	49
Tabla 5-2: Características del sensor láser pnp.....	50
Tabla 6-2: Características generales de un sensor PT-100.....	51
Tabla 7-2: Descripción de los terminales de conexión del variador.	53
Tabla 1-3: Datos del comportamiento de la zona 1	90
Tabla 2-3: Datos del comportamiento de la zona 2	92
Tabla 3-3: Datos del comportamiento de la zona 3	94
Tabla 4-3: Comportamiento de la temperatura promedio.....	97
Tabla 5-3: Datos de la variable de velocidad en función de la temperatura.....	98
Tabla 7-3: Análisis de Costos	101

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Aplicación del pegamento en la suela de caucho.....	6
Figura 2-1: Hornos de resistencia.....	8
Figura 3-1: Hornos de luz infrarroja	8
Figura 4-1: Sistema de extracción de gases.....	9
Figura 5-1: Sistemas de ventilación localizada	10
Figura 6-1: Automatización Industrial.	11
Figura 7-1: Pirámide de automatización.....	12
Figura 8-1: Pirámide de la comunicación.	14
Figura 9-1: Conexión del protocolo Profibus.	15
Figura 10-1: Profibus en el modelo OSI.....	16
Figura 11-1: Clasificación protocolar de Profibus.	17
Figura 12-1: Esquema del perfil Profibus DP.	18
Figura 13-1: Medio de acceso Paso de Testigo.	20
Figura 14-1: Maestro testigo.	20
Figura 15-1: Cable trenzado y apantallado Profibus.....	21
Figura 16-1: Fibra óptica de cristal.....	22
Figura 17-1: Estructura del PLC.....	25
Figura 18-1: Ejecución normal del PLC.	28
Figura 19-1: Ejecución periódica.....	29
Figura 20-1: Esquema de un variador de frecuencia.....	31
Figura 21-1: Diagrama de bloques de un variador de frecuencia.	32
Figura 22-1: Banda Transportadora.....	33
Figura 23-1: Banda transportadora plástica modular Intralox.....	35
Figura 24-1: Sensores.....	36
Figura 25-1: Estructura de un sensor.....	36
Figura 26-1: Elementos de protección eléctrica.	38
Figura 27-1: Breaker Termomagnético Schneider Electric.	39
Figura 28-1: Pulsador eléctrico.....	40
Figura 29-1: Selector de dos posiciones con llave.....	40
Figura 30-1: Lámpara piloto.....	41
Figura 1-2: Etapas para el diseño e implementación del sistema.	42
Figura 2-2: Etapas de funcionamiento del sistema.	43
Figura 3-2: PLC Siemens S7-1215 AC/DC/RLY.....	45
Figura 4-2: HMI KTP-700 Basic.	46

Figura 5-2: Variador de frecuencia Scheneider Electric – ATV 312.....	47
Figura 6-2: Módulo maestro Profibus.....	49
Figura 7-2: Sensor láser PNP.....	50
Figura 8-2: Sensor de temperatura PT-100.....	51
Figura 9-2: Esquema de conexión Profibus.....	52
Figura 10-2: Implementación de la red y los dispositivos.....	53
Figura 11-2: Base principal de la banda transportadora.....	54
Figura 12-2: Base y banda transportadora.....	55
Figura 13-2: Cubierta de la banda transportadora.....	55
Figura 14-2: Prototipo para el calentamiento y reactivación.....	56
Figura 15-2: Prototipo con el tablero de control.....	57
Figura 16-2: Tabla para calibres de conductores eléctricos UISA.....	58
Figura 17-2: Tabla de selección de breakers.....	59
Figura 18-2: Diagrama de bloques del sistema.....	60
Figura 19-2: Creación del nuevo proyecto en Tia Portal V13.....	61
Figura 20-2: Configuración de dispositivos.....	62
Figura 21-2: Agregar dispositivos en Tia Porta V13.....	63
Figura 22-2: Módulo analógico.....	63
Figura 23-2: Configuración de los canales de entradas analógicas.....	64
Figura 24-2: Direccionamiento de las entradas analógicas.....	64
Figura 25-2: Módulo Profibus.....	65
Figura 26-2: Asignación del archivo GSD.....	66
Figura 27-2: Origen del archivo GSD.....	66
Figura 28-2: Variador de frecuencia ALTIVAR AR312.....	67
Figura 29-2: Asignación cable Profibus.....	68
Figura 30-2: Codificación de la dirección de la unidad.....	68
Figura 31-2: entradas, salidas y memorias del PLC.....	69
Figura 32-2: Normalización y escalamiento PT100.....	70
Figura 33-2: Temperatura promedio.....	70
Figura 34-2: Gráfico de temperatura vs velocidad.....	71
Figura 35-2: Fórmula punto pendiente.....	72
Figura 36-2: Algoritmo de comunicación.....	73
Figura 37-2: Direcciones de almacenamiento CMD y consigna de velocidad.....	74
Figura 38-2: Palabras de estado.....	74
Figura 39-2: Comandos de almacenamiento.....	74
Figura 40-2: Pantalla HMI.....	78
Figura 41-2: Conexión entre el PLC y HMI.....	79

Figura 42-2: Configuración del HMI.	79
Figura 43-2: Pantalla de inicio del HMI.	80
Figura 44-2: Menú principal HMI.....	80
Figura 45-2: Mando Manual.....	81
Figura 46-2: Mando Automático	81
Figura 47-2: Palabras de Control	82
Figura 48-2: Gráfica de temperatura en función del tiempo	82
Figura 49-2: Funcionamiento de la temperatura vs velocidad	83
Figura 50-2: Esquema Final.....	84
Figura 1-3: Vista de redes. Subred Profinet. Tia Portal.....	85
Figura 2-3: Vista de redes. Subred Profibus. Tia Portal.	86
Figura 3-3: Vista de redes. Tia Portal.	86
Figura 4-3: Visualización de la primera palabra “LISTO PARA ENCENDER”	87
Figura 5-3: Visualización de la segunda palabra de estado “ENCENDIDO”.	88
Figura 6-3: Visualización de la tercera palabra de estado “HABILITADO”.	88
Figura 7-2: Visualización de la cuarta palabra de estado “PARO”.	89
Figura 8-3: Configuración del OPC en LabVIEW	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Comportamiento de la temperatura en la zona 1.....	92
Gráfico 2-3: Comportamiento de la temperatura en la zona 2.....	94
Gráfico 3-3: Comportamiento de la temperatura en la zona 3.....	96
Gráfico 4-3: Comportamiento de la temperatura promedio.....	98
Gráfico 5-3: Comportamiento de la velocidad en función de la temperatura.....	100

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Ecuación para calcular la corriente de carga.....	57
Ecuación 2-2: Ecuación para calcular la pendiente de la recta.	71
Ecuación 3-2: Ecuación punto pendiente.....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Programación del proceso

Anexo B: Diagrama de la comunicación Profibus

Anexo C: Diagramas de las entradas y salidas del PLC

Anexo D: Diagrama de Mando del Sistema

Anexo E: Diagrama de Potencia

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

PROFIBUS:	Process Field Bus
SCDs:	Sistemas de Control Directo
HMI:	Interfaz Humano - Máquina
RPM:	Revoluciones por Minuto
PLC:	Controlador Lógico Programable
OSI:	Interconexión del Sistema Abierto
DP:	Periferia Descentralizada
PA:	Automatización de Procesos
FMS:	Especificación de Mensajes de Campo
DC:	Corriente Directa
AC:	Corriente Alterna
V:	Voltios
A:	Amperios
ICP:	Interruptor de Control de Potencia
°C:	Grados Centígrados

RESUMEN

El objetivo del trabajo de titulación fue implementar el protocolo de comunicación industrial Profibus, para controlar una banda transportadora, cuyo funcionamiento se basa en un sistema seguidor de temperatura y extracción de gases. Mediante una metodología experimental, se analizó los diferentes perfiles del protocolo, eligiendo Profibus DP, así como también se procedió a la selección de los elementos, dando paso a la implementación física del sistema, y al entorno de la programación del proceso que se desarrolló en el prototipo, el cual es controlado de manera automática y manual, mediante un interfaz humano – máquina. A partir de las pruebas realizadas con el sistema, se obtuvo como resultado un rango de temperatura de funcionamiento de 106°C – 110°C, con un rango de velocidad de 11 rpm – 13 rpm, teniendo en cuenta que esta variable se encontrará en función de la temperatura promedio. Se concluye que con la implementación de la red Profibus, como dispositivo maestro el módulo Siemens Profibus y dispositivo esclavo el variador de frecuencia Schneider Electric, se logra la transmisión de datos de manera cíclica, logrando la comunicación entre los dispositivos y el proceso implementado. Se recomienda por parte de las autoras, verificar que las direcciones IP de los dispositivos que integran el sistema se encuentren en la misma red para garantizar su correcto funcionamiento.

Palabras clave: <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA ELECTRÓNICA>, <AUTOMATIZACIÓN>, <RED PROFIBUS>, <SISTEMA SEGUIDOR DE TEMPERATURA>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)> <INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI)>, <RECATIVACIÓN DEL PEGAMENTO>

ABSTRACT

The aim of the academic title work was to implement the Profibus industrial communication protocol, to control a conveyor belt, whose operation is based on a temperature and gas extraction system. Through an experimental methodology, the different profiles of the protocol were analyzed, choosing Profibus DP, as well as the selection of the elements, giving way to the physical implementation of the system, and to the programming environment of the process that was developed in the prototype, which is controlled automatically and manually, through a human interface – machine. Based on the tests carried out with the system, an operating temperature range of 106°C – 110°C was obtained, with a speed range of 11 rpm, given that this variable will be a function of average temperature. It is concluded that with the implementation of the Profibus network, as a master device the Siemens Profibus module and slave device the Schneider Electric frequency inverter, the data transmission is achieved in a cyclical way, achieving communication between the devices and the implemented process. It is recommended by the authors, verify that the IP addresses of the devices that make up the system are in the same network to ensure proper operation.

KEYWORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGIES AND SCIENCES>, <ELECTRONIC ENGINEERING>, <AUTOMATION>, <RED PROFIBUS>, <TEMPERATURE FOLLOWER SYSTEM>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)>, <RECEPTION OF GLUE>.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

A nivel mundial, los diversos procesos industriales han adquirido mejoras tecnológicas dentro de cada área que rigen a los mismos, siendo este un impacto realmente grande para los países industrializados. Un proceso industrial está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen imposible fabricar dos productos exactamente iguales, es por ello que la exigencia de las empresas en torno a la producción industrial se vuelve cada más fuerte, creando una atmosfera mucho más competitiva en las exportaciones de todos los países.

El caucho natural se produce principalmente en el sudeste asiático, mientras que el sintético procede en su mayoría de países industrializados como Estados Unidos, Japón, Europa occidental y Europa oriental. Brasil es el único país en desarrollo que posee una industria importante de caucho sintético. El 60 % del caucho sintético y el 75 % del caucho natural se destinan a la fabricación de neumáticos y productos afines, que da empleo a casi medio millón de trabajadores en todo el mundo.

Ahora nos encontramos en la era de la tecnología, dando importancia al adecuado control de procesos en cualquier tipo de área de producción a nivel mundial. Por consiguiente, durante los últimos años la automatización industrial ha tenido un auge importante dentro del país, pero principalmente en el sector industrial de las ciudades que han adoptado la tecnología en la industria de forma vertiginosa a sus procesos de producción, y evaluación de calidad.

Dentro de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, existe un trabajo de titulación denominado Implementación de un sistema HMI con red Profibus en el laboratorio de Mecatrónica desarrollado por Edison Naranjo y Fabricio Sandoval, en el que desarrollan el montaje de la red.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Con la implementación de una red Profibus se podrá controlar la banda transportadora para el proceso de calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho mediante un sistema seguidor de temperatura y extracción de gases?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Con el análisis de las diferentes técnicas de implementación de la red Profibus, se podrá seleccionar la más adecuada para el desarrollo del trabajo?

¿Se podrá implementar la red de comunicación Profibus para mejorar la obtención de las variables de proceso?

¿Cómo se implementará el prototipo para el control de la reactivación de pega en el caucho con un sistema de extracción de gases y un sistema HMI para el control del mismo?

¿Cuáles son las pruebas que se deben realizar en la implementación de la Red Profibus?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El presente trabajo de titulación implementa una red Profibus sistema maestro-esclavo para controlar una banda transportadora para el proceso de calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho, tomando como variable a manipular la temperatura mediante un control en lazo cerrado en donde la señal de salida del sistema (variable controlada) tiene efecto directo sobre la acción de control (variable de control), este tipo de control permite que el sistema sea más flexible y capaz de reaccionar si el resultado que está obteniendo no es el esperado.

Mediante el modelo Profibus que se adapte al proceso de reactivación del pegamento, se deberá adquirir la señal de velocidad del motor de la banda que transporta el material, este a su vez será modificado de acuerdo a la temperatura de las cuatro zonas de calentamiento del túnel de reactivación. Estas cuatro fases de calentamiento serán el origen de los datos para que mediante operaciones matemáticas puedan dar como resultado otra señal que servirá de base para el control de velocidad de la banda que transporta el caucho con el pegamento a reactivar.

El sistema de reactivación del pegamento debe cumplir con una relación temperatura- velocidad de avance para que llegue al final del proceso con el punto de adhesión referido, para que el material pueda ser procesado de acuerdo a las necesidades del fabricante. Para ello se necesita que la velocidad de avance sea directamente proporcional a la temperatura, es decir a mayor temperatura mayor velocidad de avance, tomando en cuenta que el tiempo de exposición del material al calor debe ser el suficiente para reactivar el pegamento.

El elemento de control que decidirá la acción a tomar cuando se recibe una señal de error será un controlador lógico programable conocido como PLC que es un dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario y se utiliza para resolver problemas de secuencias en la maquinaria o procesos y un elemento ampliamente utilizado en las industrias que nos ofrece una gran cantidad de ventajas para este proceso como lo son: control más preciso, mayor rapidez de respuesta, facilidad de programación, seguridad en el proceso, menor consumo de energía que otras tecnologías, menor mantenimiento, posibilidad de añadir modificaciones sin elevar costos, menor costo de instalación, operación y mantenimiento, posibilidad de gobernar varios actuadores con el mismo autómatas y existe gran literatura acerca de esta tecnología.

Referente a los actuadores o sensores que son los que recibirán la orden del controlador, los mismos que realizarán una función específica de medir la temperatura para que estas se mantengan dentro del rango necesario. Los actuadores cumplirán una función importante en el sistema, ya que serán los encargados de comunicarse con el controlador sobre las variables que se manejarán en el sistema.

En referencia al sistema de extracción de gases, su construcción será realizada a partir de un diseño mecánico, mismo que facilitara la eliminación de la cantidad de aire que debe evacuarse del prototipo a construirse, es decir el sistema debe evitar la acumulación de gases al momento de la reactivación del pegamento en el caucho.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

En la actualidad diversos procesos industriales manejan la red Profibus debido a su alto grado de aplicación y utilización en los diferentes tipos de industrias, que necesitan reducir la pérdida y retardo de datos en la comunicación con el proceso.

El sistema pretende incrementar la eficiencia del proceso, mediante una transmisión confiable y a tiempo real de las variables que intervienen en el proceso. El prototipo en el cual se comprobará el funcionamiento de la red Profibus, consta de tres zonas de calentamiento, las

cuales envían una señal de temperatura a un módulo acondicionador de señal que permite convertir la señal del sensor de temperatura PT-100 a una señal de 0 a 10 voltios que será interpretada y manipulada en el sistema de control.

El valor promedio de las tres señales de temperatura será acondicionado para controlar el avance de la banda transportadora mediante la variación de velocidad del motor. Logrando con esto realizar el proceso de calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho

Los datos obtenidos del sistema podrán ser visualizados mediante el empleo de una interfaz gráfica, que permite: controlar las variables proceso, verificar el estado del mismo, así como comprobar el correcto funcionamiento de la red Profibus implementada. El funcionamiento del prototipo puede ser efectuado de 2 modos: manual y automático.

Con el pasar del tiempo y el avance de la tecnología el proceso de fabricación de calzado ha variado significativamente. Este proceso en algunas empresas se lo realiza de forma artesanal con el empleo de maquinaria de tipo mecánica, pero en su mayoría de forma manual empleando técnicas de fabricación rudimentarias, mismas que pueden ocasionar daño a los operarios. La implementación de un prototipo que realice el calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho será de ayuda para poder evitar riesgos a los operarios e incrementar la productividad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar una red Profibus para controlar una banda transportadora para el proceso de calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho, mediante un sistema de seguidor de temperatura y extracción de gases.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar las diferentes técnicas de implementación de red Profibus para seleccionar la más adecuada.
- Implementar la red de comunicación Profibus con un sistema maestro esclavo.
- Construir un prototipo para el control de la reactivación de la pega en el caucho, con un sistema de evacuación de gases.
- Diseñar una interfaz hombre máquina para el monitoreo del sistema.
- Realizar las pruebas y validación de resultados del sistema.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En este capítulo se desarrolla una breve descripción de la red Profibus, sus características, elementos principales que lo componen. Además, se presenta una reseña de los componentes necesarios para poder implementar un prototipo para el control de la reactivación de pega en el caucho, con un sistema de evacuación de gases, así como del software empleado para desarrollar el presente trabajo de titulación.

1.1 Proceso del Calentamiento y Reactivación del Pegamento en el Caucho

La reactivación del pegamento en el caucho, se basa en un proceso coherente, el cual inicia desde la aplicación de cualquier tipo de pegamento sobre el caucho, figura 1-1, teniendo en cuenta que este adhesivo debe pasar de un estado líquido a una capa sólida. El proceso que logra que la capa solida de pegamento vuelva a su estado original se llama reactivación, el mismo que consiste en aplicar calor a una temperatura definida sobre el caucho y seguir con el proceso que se vaya aplicar dentro de la elaboración del calzado. (Ortiz, 2011, p.8)



Figura 1-1: Aplicación del pegamento en la suela de caucho
Fuente: (ReinventandoelCalzado, 2016, p.1)

1.1.1 Factores que intervienen en el proceso de reactivación

(Ortiz, 2011, p.8)

- El calor que se aplica al proceso de reactivación, debe aplicarse en la parte donde se encuentre el pegamento, debido a que las altas temperaturas pueden deformar o dañar a otro tipo de materiales.
- El dispositivo o fuente emisora de calor, debe permanecer en un lugar específico donde no vaya a existir ningún tipo de interrupciones con la capa de pegamento a reactivarse, debido a que esto puede hacer que se alargue el proceso.
- Si la temperatura supera el límite permitido según la pega que se vaya a utilizar, el adhesivo puede descomponerse, y llegar a formar burbujas donde se haya aplicado la misma.
- La aplicación de calor debe ser de manera equitativa sobre toda la capa de pegamento que se desee reactivar, logrando que el proceso se dé al mismo tiempo.

1.1.2 Descripción de la maquinaria para el proceso de reactivación

Para el proceso de reactivación del pegamento, existen algunos tipos de maquinaria tales como, automática o semi automática, esto según el producto que se vaya a realizar. Es cierto que el proceso de reactivación puede darse de manera manual, pero se debe tener en cuenta la destreza y la técnica que el fabricante posea.

Los equipos que generalmente se utilizan para la reactivación en el proceso manual, corresponden a hornos de resistencia, figura 2-1, los cuales dan resultados aceptables por la manera uniforme de reactivar el pegamento, y las lámparas emisoras de luz infrarroja, figura 3-1, estos equipos presentan problemas debido a exceso de calor.



Figura 2-1: Hornos de resistencia

Fuente: (Industry, 2014, p.1)

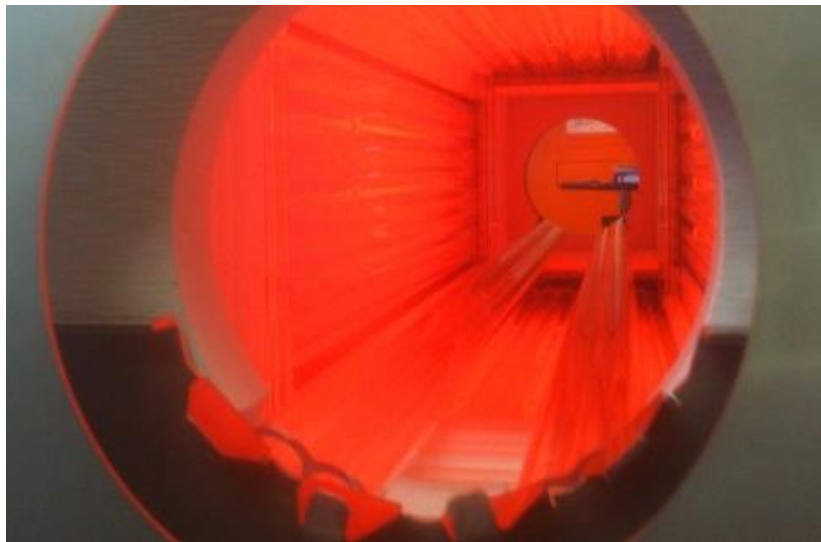


Figura 3-1: Hornos de luz infrarroja

Fuente: (Heraeus Noblelight, 2015, p.1)

1.1.3 Proceso de Pegado

Dentro del proceso de reactivación, se debe tomar en cuenta el proceso de pegado, en donde se elige el adhesivo que sea más adecuado para el proceso que se va a realizar. En general los pegamentos se deben caracterizar por su viscosidad, la velocidad de evaporación y la naturaleza del polímero con el que son fabricados. (Curtidos Anton, 2016, p.1)

Los adhesivos que se utilizan en el proceso de reactivación se presentan a continuación:

- Adhesivos de poliuretano
- Adhesivos de contacto
- Adhesivos cement

Es importante mencionar que los adhesivos de poliuretano, son los más adecuados para el proceso de la reactivación, debido a que la temperatura adecuado para cumplir el proceso es de 70°C a 110°C. (Curtidos Anton, 2016, p.1)

1.2 Sistemas de Extracción de Gases

Dentro de la industria se puede encontrar diversos procesos, los cuales funcionan de diferente manera. Diversas plantas industriales manejan sistemas que requieren de una adecuada ventilación, es así que desde hace muchos años atrás se han creado los sistemas de EXTRACCIÓN, figura 4-1, que son empleados para eliminar los residuos en el aire que sean generados por algún tipo de operación, con la finalidad de brindar un ambiente libre de contaminantes. (Lopez S, 2013, p.5)



Figura 4-1: Sistema de extracción de gases.
Fuente: (Climas S.A, 2011, p.1)

1.2.1 Sistemas de Extracción Localizadas

Un sistema de ventilación por extracción se utiliza para eliminar el exceso de calor o humedad que existan en un sistema industrial, teniendo en cuenta que se debe disponer aire frío para poder sustituir. Generalmente se procede a encerrar la fuente de calor, con la finalidad de impedir que este penetre en toda el área de trabajo. (Lopez S, 2013, p.7)

Existen operaciones industriales que, por su localización o el tipo de proceso, no es posible la instalación de un sistema de extracción localizada, es así que se puede recurrir a la ventilación general. La ventilación de ser diseñada con el objetivo de que el aire circule por el área de trabajo, en función de las corrientes naturales externas. (Lopez S, 2013, p.8)

Los sistemas de extracción localizada, figura 5-1, captan y eliminan los residuos contaminantes del proceso, es así que son diseñados antes de iniciar las operaciones laborales en el área de trabajo. (Lopez S, 2013, p.8)



Figura 5-1: Sistemas de ventilación localizada
Fuente: (AIZE KLIMA S.L, 2013, p.1)

1.3 Automatización Industrial

La automatización industrial nace bajo la necesidad de mejorar el tiempo de respuesta, la optimización de diversos procesos que cada vez requieren mayor precisión. La automatización en la industria permite elevar los niveles de continuidad, así como el control global de los

sistemas, logrando mayor eficiencia en la producción teniendo en cuenta la capacidad nominal de la planta. (PI-Brasil, 2012, p.3)

El desarrollo industrial es la clave dentro del área de la automatización, dando prioridad a ciertos procesos que requieren de dicha intervención. En el transcurso del tiempo diversos factores han influido en el crecimiento industrial, los cuales han acelerado el perfeccionamiento de múltiples sistemas. (PI-Brasil, 2012, p.5)



Figura 6-1: Automatización Industrial.
Fuente: (Bocanegra, 2014, p.1)

1.3.1 Objetivos de la automatización industrial

La implementación de la automatización industrial, se rige bajo diversas normas, las mismas que tienen objetivos específicos dentro del funcionamiento de los sistemas que manejan diversos procesos. Dentro de los objetivos más importantes que se definen dentro de la automatización son los siguientes:

(Solbes Monzó, 2013, p.13)

- Mejorar los resultados en referencia a la calidad del producto.
- Reducir los tiempos de producción.
- Incrementar la productividad mediante un adecuado control de producción.
- Eliminar diferentes tareas, que pueden ser un peligro para el ser humano.
- Eliminar la pérdida de producto que se da por maneja manual de diversos procesos.
- Mejorar la seguridad industrial para todo personal laboral.
- Disminuir el mantenimiento de los equipos, sin adquirir pérdidas en la producción.
- Reducir el sobre flujo de materia prima.

- Solucionar problemas dentro de procesos que no son realizables manualmente.

1.3.2 Niveles de la automatización

Los niveles de automatización son divididos en base a los diferentes protocolos de comunicación industrial que se utilizan, de esta forma se crea una relación dentro de cada nivel, así como también con diferentes jerarquías. Dichos niveles se encuentran representados dentro de la conocida “pirámide de automatización”, misma que está constituida por cinco niveles tecnológicos descritos en la figura 7-1.

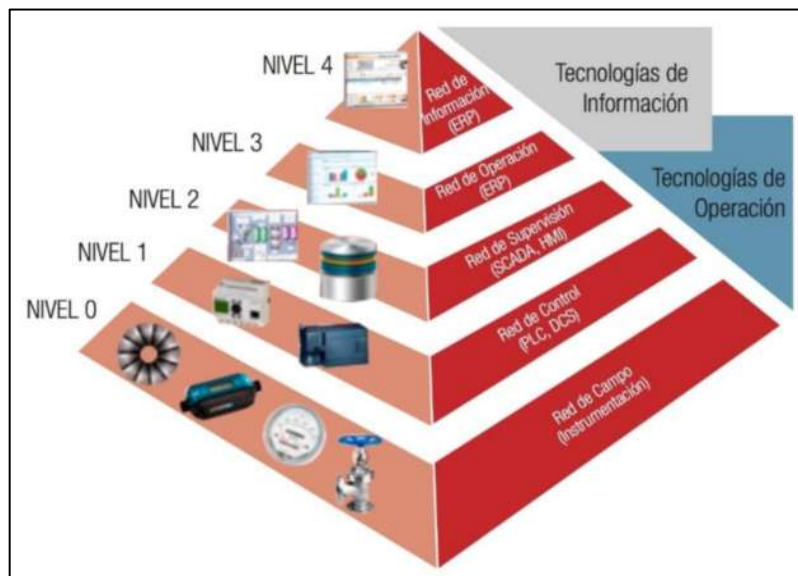


Figura 7-1: Pirámide de automatización.

Fuente: (Cibersegurida Industrial, 2017, p.1)

1.3.2.1 Nivel 0 o nivel de campo

Corresponde al nivel inferior, aquí es donde se encuentran los diferentes tipos de actuadores, como son los sensores, motores, etc. Así como los procesos que tienen que ver con la hidráulica, neumática y la parte de hardware, por medio de cualquier de estos dispositivos físicos se adquieren datos. (MICRO, 2018, p.3)

1.3.2.2 Nivel 1 o nivel de control

En este nivel se encuentra los dispositivos encargados del control y monitoreo del sistema, estos son PC, PLC, HMI, variadores de frecuencia, etc. Dicho nivel monitorea y controla los equipos que se encuentran en el nivel de campo. (MICRO, 2018, p.3)

1.3.2.3 Nivel 2 o nivel de supervisión

Dentro de este nivel se desarrolla el control entre los dispositivos que están en el nivel de control, de esta manera se logra controlar los procesos al mismo tiempo, como un sistema SCADA. (MICRO, 2018, p.3)

1.3.2.4 Nivel 3 o nivel de planificación

La función de este nivel es el de administrar las existencias, así como también el seguimiento al producto y los sistemas de ejecución de manufactura (MES). (Carrillo, D; Cushquiculma, 2016, p.17)

1.3.2.5 Nivel 4 o nivel de gestión

El nivel 4 se encarga de gestionar los diferentes servicios corporativos, esto se da con la ayuda de los sistemas de gestión que tengan las empresas, bajo diferentes reglamentos de las mismas.

1.4 Red Profibus

Dentro del área de la automatización se manejan distintos tipos de procesos que se rigen a controles específicos, los cuales requieren sistemas descentralizados para la obtención de los mismos debido a la complejidad de la tarea que se vaya a efectuar. Estos sistemas tienen como objetivo dividir en tareas de menor complejidad y así lograr mejores resultados al finalizar cualquier proceso. (Hurtado, 2014, p.3)

Al hablar de un sistema descentralizado se debe tener en cuenta la aplicación que se va a desarrollar, es así que a principios de 1991 bajo la norma DIN 19245, se crea el sistema PROFIBUS cuyas iniciales vienen de PRO = process; FI = field; BUS, con el objetivo de posibilitar la unión de redes de dispositivos de automatización que se encuentran en el nivel de campo, con el control de procesos del nivel de célula, tal y como se especifica en la pirámide de la comunicación, figura 8-1. (Hurtado, 2014, p.3)

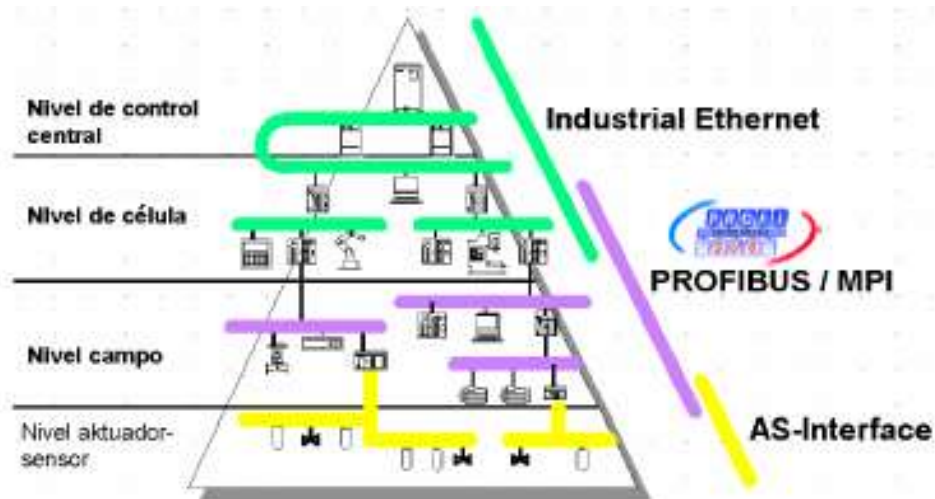


Figura 8-1: Pirámide de la comunicación.

Fuente: (Hurtado, 2014, p.2)

“PROFIBUS es un protocolo que esta normalizado según IEC 61158/61784, es un potente sistema de bus de campo abierto y robusto con tiempos de reacción cortos. PROFIBUS está disponible con diferentes medios y técnicas de transmisión para cubrir diversas aplicaciones”.(Siemens, 2010, p.4)

Dentro de los dispositivos que pueden ser utilizados por la red PROFIBUS, se tiene PLC, PC, equipos HMI, actuadores, entre otros; los mismos que se conectan a través de un bus unificado, esto significa que comparten un canal de comunicación por donde se envía o recibe información entre los diferentes equipos. (Siemens, 2010, p.4)

Los equipos que se manejan dentro de la red PROFIBUS deben tener ciertas características que brinda la amplia gama de la empresa SIEMENS, así como también de otros fabricantes que ofrecen productos que puedan ser compatibles entre ellos, esto con la finalidad de lograr un funcionamiento lógico y coherente en el montaje de la red.

1.4.1 Características generales de Profibus

- PROFIBUS es una red de campo abierto, que puede ser utilizada en diversas aplicaciones con la finalidad de conseguir respuestas rápidas, rentables y sin perturbaciones dentro de cualquier tipo de producción donde se la vaya implementar.
- PROFIBUS responde a un sistema multi-maestro, es decir permite que haya una operación conjunta entre sistemas de automatización los cuales son constantemente monitoreados según la función que tengan.

- Dentro de la configuración de una red Profibus se evidencia flexibilidad y facilidad al momento del montaje o edición de la misma, dando una relación de comunicación libre en el sistema de automatización.

1.4.2 Diferencias entre un sistema Profibus y un sistema convencional

Al hablar de un sistema convencional, se tiene presente los sistemas SCDs (Sistemas de Control Directo), en los cuales la concentración de las tareas de control se limita en una estación céntrica, con baja posibilidad de respuesta y control óptimo. La conexión de la comunicación entre los diferentes equipos utilizados en el proceso es punto a punto, es decir que esta se limita al número de equipos y a los tipos de procesos a realizarse.

En la actualidad los procesos industriales requieren de conexiones y equipos robustos, debido a la complejidad de las actividades que hoy en día se realizan, es así que los sistemas SCDs pasaron a segundo plano, dejando de dar una respuesta satisfactoria y poco confiable en los nuevos tipos de sistemas que se manejan al presente. PROFIBUS pertenece a la clasificación de los protocolos industriales que son utilizados en las redes de control industrial en tiempo real, conocidos como sistemas fieldbus, figura 9-1.

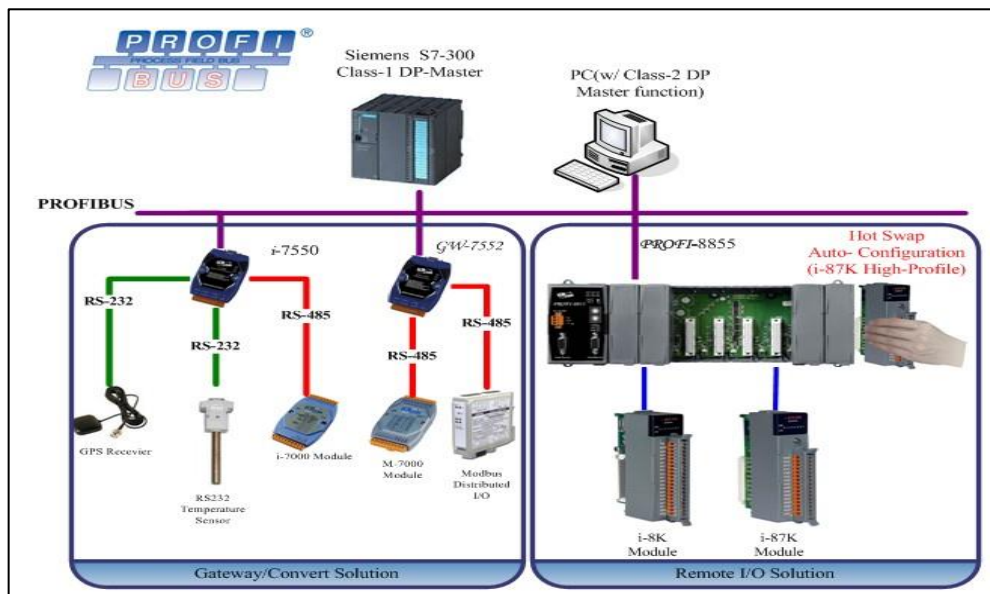


Figura 9-1: Conexión del protocolo Profibus.

Fuente: (ICP DAS, 2013, p.1)

Dentro de las ventajas que presenta profibus se destacan las siguientes:

- Es un sistema abierto
- Mejor respuesta en torno a su transmisión de datos

- Múltiples topologías de red.
- La instalación, configuración y mantenimiento no son complejas.
- Seguridad implícita.
- Acceso inmediato a los datos del nivel de campo.
- Permite expansión dentro del sistema.
- Inmune a señales o ruidos externos.
- Comunicación inmediata entre los equipos del proceso.

1.4.3 Arquitectura de la Red Profibus

PROFIBUS es un sistema que se orienta en el modelo OSI, es así que al referirse a la arquitectura de la red se basa en normas internacionales como la ISO 7498, en donde se encuentra definido diversas características que especifica el modelo OSI.

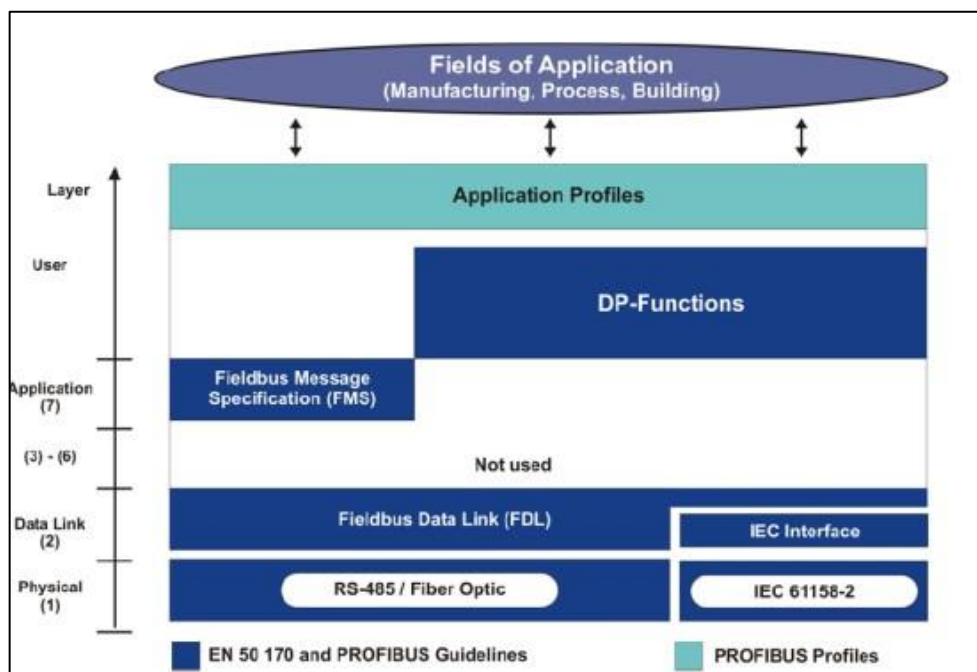


Figura 10-1: Profibus en el modelo OSI.

Fuente: (PI-Brasil, 2012, p.11)

En el modelo OSI, PROFIBUS se define en la capa 1 correspondiente al nivel físico, en donde se encuentran las características de transmisión correspondientes a la parte física. En la capa 2 está el nivel de enlace de datos, es aquí donde se especifica el protocolo de acceso a la red. Y en la capa 7 de aplicación se encuentran las distintas funciones que tiene PROFIBUS, tal y como se evidencia en la figura 10-1.

1.4.4 Normalización de Profibus

Las principales normalizaciones que rigen a Profibus se derivan de los estándares europeos, mismos que nacen del proyecto de investigación encabezado por las empresas: ABB, Bosh, Siemens, entre otros de gran importancia dentro del campo industrial. Es así que dicha investigación tuvo como resultado las siguientes normas:

- Norma DIN 19245, partes 1 y 2. La parte 3 corresponde a Profibus DP.
- Estándar EN 50170.
- Norma ISO 9506.

1.4.5 Perfiles del protocolo Profibus

Al hablar de los perfiles de comunicación de PROFIBUS, se toma en cuenta el proceso que se va a implementar, así como también los datos que se transmitidos dentro del mismo. Dichos perfiles se clasifican teniendo en cuenta la arquitectura protocolar de PROFIBUS, tal y como se muestra en la figura 11-1. (PI-Brasil, 2012, p.14)

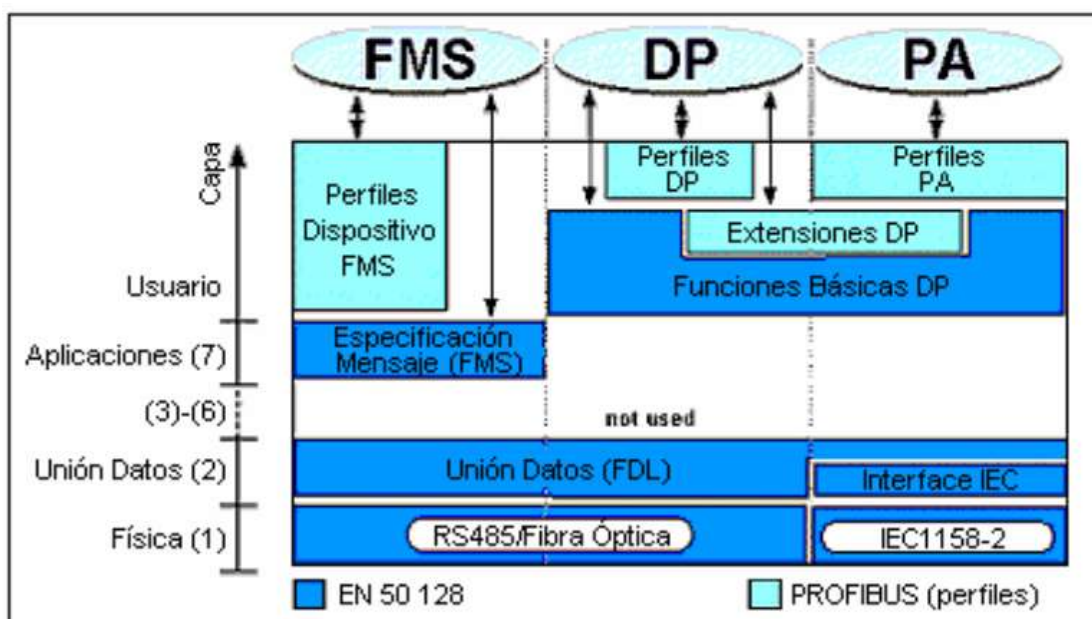


Figura 11-1: Clasificación protocolar de Profibus.

Fuente: (Lopez, 2002, p.28)

1.4.5.1 Profibus DP

En este perfil es donde se conecta diversas unidades de campo descentralizadas, debido a su alta velocidad de respuesta es ideal para sistemas automatizados en donde los actuadores que intervienen en los procesos se encuentran distribuidos en diferentes puntos.

Profibus DP, figura 12-1, sustituye principalmente a los sistemas convencionales por el medio físico RS-485 o fibra óptica, los mismos que requieren un tiempo menos a 2 ms para transmitir 1 kbyte, esto en lo que se refiere a la transmisión de datos ya sean de entrada o salida, también es usado en controles que requieren una respuesta casi inmediata.

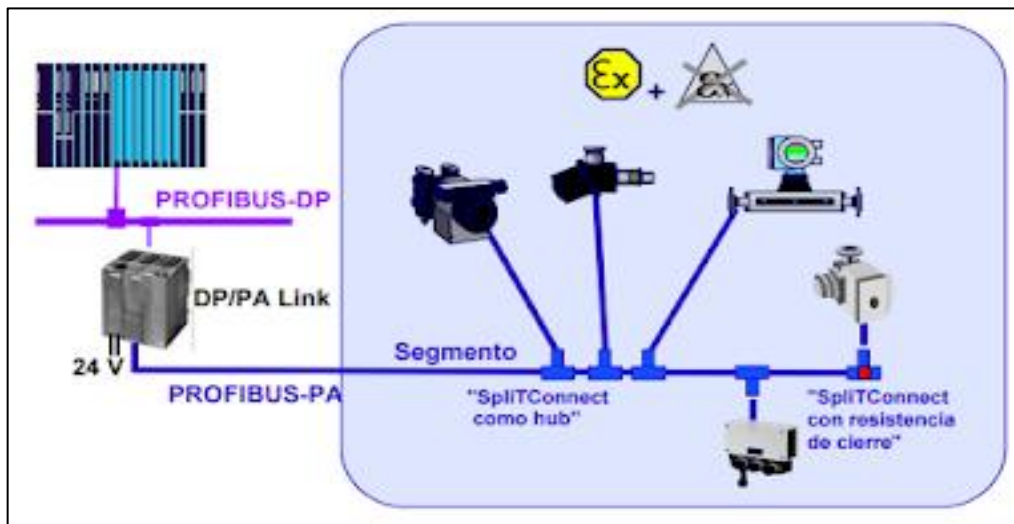


Figura 12-1: Esquema del perfil Profibus DP.

Fuente: (Gomez, 2015, p.1)

Dentro de Profibus DP existen tres versiones, cada una de ellas fueron creadas según la necesidad del proceso, así como también del adelanto de la tecnología y la búsqueda de soluciones a nuevos sistemas y aplicaciones que se han creado, estas versiones corresponden a DPV0(1993), DPV1(1997), DPV2(2002).

1.4.5.2 Profibus PA

Este perfil corresponde a la compatibilidad con Profibus DP, es donde la comunicación se basa en la tecnología de transmisión, misma que permite a los usuarios acceder dentro de un área externa. Esta tecnología de transmisión se basa en el estándar IEC 1158-2.

1.4.5.3 Profibus FMS

Al hablar de comunicaciones complejas dentro de diversas tareas o procesos, se habla de la intervención de Profibus FMS, el mismo que ofrece ciertas funciones avanzadas entre

dispositivos con mayor tecnología, este perfil está diseñado para lograr una comunicación en células de red, así como también entre elementos que tengan una interface FMS.

1.4.5.4 Diferencia de los perfiles de Profibus

Los perfiles de Profibus tienen diferentes características, las cuales se evidencian en la tabla 1-1:

Tabla 1-1: Características de Profibus FMS-DP-PA.

Detalle	Profibus FMS	Profibus DP	Profibus PA
Aplicación	Nivel de célula	Nivel de campo	Nivel de campo
Estándar	EN 50170/ IEC 61158	EN 50170/ IEC 61158	IEC 61158
Dispositivos conectables	PLC, PC, Dispositivos de campo	PLC, PC, Dispositivos de campo binarios y analógicos, accionamientos, OPs.	Dispositivos de campo para áreas con riesgo de explosión y 31,25 kbit/s.
Tiempo de respuesta	Menor a 60 ms	1 – 5 ms	Menor a 60 ms
Tamaño de red	Menor o igual a 150km	Menor o igual a 150km	Máximo 1,9 km
Velocidad de transmisión	9,6 kbit/s – 12 Mbit/s	9,6 kbit/s – 12 Mbit/s	31,25 kbit/s

Fuente: profibus comparación

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael. 2018

1.4.6 Medios de acceso a Profibus

Existen dos medios de acceso para el manejo de PROFIBUS, mismos que ayudan para una conexión segura y optima, estos son:

1.4.6.1 Paso de Testigo (token bus)

Este medio se encuentra definido bajo la norma EN 50170, mismo que usa una configuración en forma de un anillo lógico dentro de la cual se encuentran las estaciones de trabajo llamadas maestros en la red, el funcionamiento de esta configuración es de forma ascendente según la dirección PROFIBUS que haya sido asignada, teniendo en cuenta que el orden es independiente de la posición física de las estaciones.

Este método hace posible la conexión y desconexión de los usuarios de la red en el tiempo del servicio, esto es indiferente del medio físico que se utilice, figura 13-1.



Figura 13-1: Medio de acceso Paso de Testigo.

Fuente: (Hurtado, 2014, p.5)

1.4.6.2 Maestro – testigo por sondeo (polling)

Este método es utilizado cuando existe una sola estación del trabajo que será la correspondiente al maestro y en la red se encontraran las estaciones pasivas definidas como esclavos. En este caso el maestro es el que puede enviar o recibir información de los esclavos.

Basándose en la configuración de PROFIBUS DP, el equipo correspondiente al maestro DP intercambia información de los datos en forma cíclica con los equipos configurados como esclavos, tal y como se puede ver en la figura 14-1.

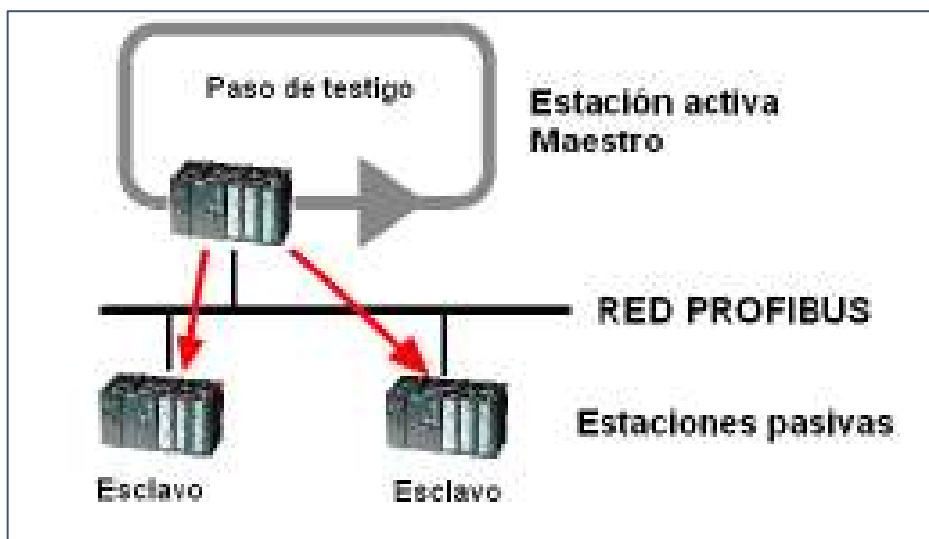


Figura 14-1: Maestro testigo.

Fuente: (Hurtado, 2014, p.5)

1.4.7 Topología de la red Profibus

Dentro de las topologías de Profibus, existen tres opciones para la conexión y montaje de esta red, las mismas que son utilizadas según el entorno en el que se va a implementar.

1.4.7.1 Red eléctrica

Dentro de esta topología se tienen las siguientes opciones:

- Cable de par trenzado y apantallado (RS 485), cuyo color característico es morado, el cual alberga a dos hilos, uno de color verde y otro color rojo, figura 15-1.



Figura 15-1: Cable trenzado y apantallado Profibus.

Fuente: (Blogspot, 2014, p.1)

- Cable de par trenzado para áreas sujetas a riesgos de explosión.

1.4.7.2 Red óptica

Este tipo de topología, se utiliza para ambientes que presenten interferencia electromagnética, así como también en aplicaciones que necesitan un aislamiento eléctrico, o casos que requieren incrementar la distancia del bus sin afectar la velocidad de transmisión. (Phoenix, 1993, p.2)

Esta topología se divide en:

- Fibra óptica de cristal, figura 16-1.
- Fibra óptica de plástico



Figura 16-1: Fibra óptica de cristal.

Fuente: (Euro Coms, 2017, p.1)

1.4.8 Análisis Cualitativo de los Protocolos de Red Industriales

Se realizó un previo análisis entre los diferentes protocolos de comunicación industrial, con la finalidad de comparar la velocidad de transmisión de datos. En la tabla 6-3, se puede evidenciar dichos datos:

Tabla 2-1: Análisis cualitativo de los protocolos de red industrial.

Protocolo de comunicación	Topología	Dispositivos conectados(máximo)	Trasmisión bit/s	Distancia en Km(máxima)
Profibus DP	Línea, estrella y anillo	127 dispositivos por segmento	Hasta 1,5 y 12 Mbit/s	0,1 por segmento 24 por fibra
ASI	Bus, estrella, anillo, lazo	31 dispositivos por segmentos	Hasta 167 Kbit/s	0,2
MODBUS	Línea, estrella, árbol	125 dispositivos por segmento	De 1,2 a 115Kbit/s	0,35
ETHERNET	Bus, estrella, malla, cadena	400 dispositivos por segmento	1000 Mbit/s	0,1 – 100 con switch

Fuente: (Salazar and Correa, 2011, p.15)

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael, 2018

Como se puede ver en la tabla 6-3, el protocolo Profibus DP y ethernet, son las redes industriales que tienen la capacidad de conectar más dispositivos dentro de un sistema, teniendo en cuenta el tipo de proceso que se quiera realizar o el ambiente donde se vaya instalar. Bajo el análisis de los protocolos de redes industriales, se puede decir que:

- Es cierto que ETHERNET es el protocolo con la mayor velocidad de transmisión y conexión de dispositivos, pero se debe tener en cuenta que dentro del ámbito industrial se presentan diferentes equipos, los cuales necesitan otro tipo de conexión y comunicación diferente a ETHERNET.
- Profibus DP es un protocolo con una alta respuesta en transmisión de datos, así como también brinda una alta capacidad de conexión de dispositivos, de igual manera dependiendo el proceso que se desee realizar y los equipos a conectarse, se lo puede elegir como la mejor opción.

1.5 Controlador Lógico Programable

1.5.1 Definición

El controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo electrónico, el mismo que se encarga de ejecutar un programa de manera cíclica, es decir, que se repite regularmente cada cierto tiempo. Este dispositivo tiene una memoria programable, la misma que se encarga del almacenamiento de diversas instrucciones, de esta forma da paso a implementar funciones específicas que sirvan para el control de procesos. (M. Moreno, 2002, p.3)

Estos controladores son instalados en ambientes industriales, donde se necesite una respuesta inmediata, debido a que son procesos que exportan datos en tiempo real. Los PLC son utilizados en sistemas que requieren controles lógicos.

El PLC es un dispositivo que tiene características especiales referentes a su diseño, es por eso que el campo de aplicación es extenso. Constantemente existen varias actualizaciones en el hardware y software de estos dispositivos, estos con la finalidad de cubrir las necesidades que cada día van apareciendo dentro de la industria. Es por eso que las aplicaciones del PLC se ven implícitas dentro de procesos de fabricación a transformaciones industriales, entre otras. (M. Moreno, 2002, p.5)

1.5.2 Aplicaciones del PLC

Dentro de los procesos que requieren la intervención del PLC se tiene:

(M. Moreno, 2002, p.6)

- Espacios de instalación reducidos.

- Procesos cambiantes en intervalos de tiempo.
- Sistemas con procesos variables.
- Señalización y control de los procesos.
- Seguridad dentro de las instalaciones.
- Instalaciones que requieren maniobras, como: aire acondicionado.
- Instalaciones de sistemas robustos y amplios.
- Programación centralizada dentro de las diferentes partes del proceso.
- Maniobras en maquinarias que requieran ser automatizadas.

1.5.3. Ventajas y Desventajas de un PLC

Es cierto que no todos los controladores brindan las mismas ventajas en lo que se refiere a la lógica cableada, esto se da porque existen variedades de modelos en el mercado y por la innovación tecnológica. Estas razones son las que hacen posible tener una referencia de las ventajas y desventajas de estos dispositivos. (M. Moreno, 2002, p.8)

1.5.3.1. Ventajas:

- Disminución en el tiempo empleado para la elaboración de diversos proyectos.
- Reducción en la adquisición de los equipos y en el presupuesto para la adquisición de materiales para la implementación de los procesos.
- Brinda la posibilidad de modificar los procesos, sin la necesidad de cambiar la configuración referente al cableado o a la inserción de nuevos dispositivos.
- No se requiere de gran espacio para la instalación de un PLC.
- No se requiere de un mayor presupuesto para el mantenimiento, debido a que este tipo de dispositivos son capaces de indicar las averías que existen y donde estén ubicadas.
- Brinda la opción de controlar diversos equipos con la ayuda de un solo dispositivo.
- No requiere mayor complicación en lo que se refiere a la mano de obra para la instalación.
- La puesta en funcionamiento de los procesos no requiere de mucho tiempo.
- Si el dispositivo deja de funcionar en cualquier sistema de producción, es posible volverlo a implementar en otro proceso.

1.5.3.2. Desventajas:

- Para el manejo del PLC es necesario la presencia de un programador, esto implica brindar frecuentes capacitaciones al personal para que estén al tanto de las diferentes actualizaciones que se dan en estos dispositivos.
- El costo de un PLC es variable.

1.5.4. Estructura de un PLC

El controlador lógico programable se encuentra compuesto por una estructura básica como se indica en la figura 17-1, la misma que está compuesta por:

- CPU.
- Memoria.
- Interfaz de entrada.
- Interfaz de salida.
- Alimentación.
- Módulos de comunicación.

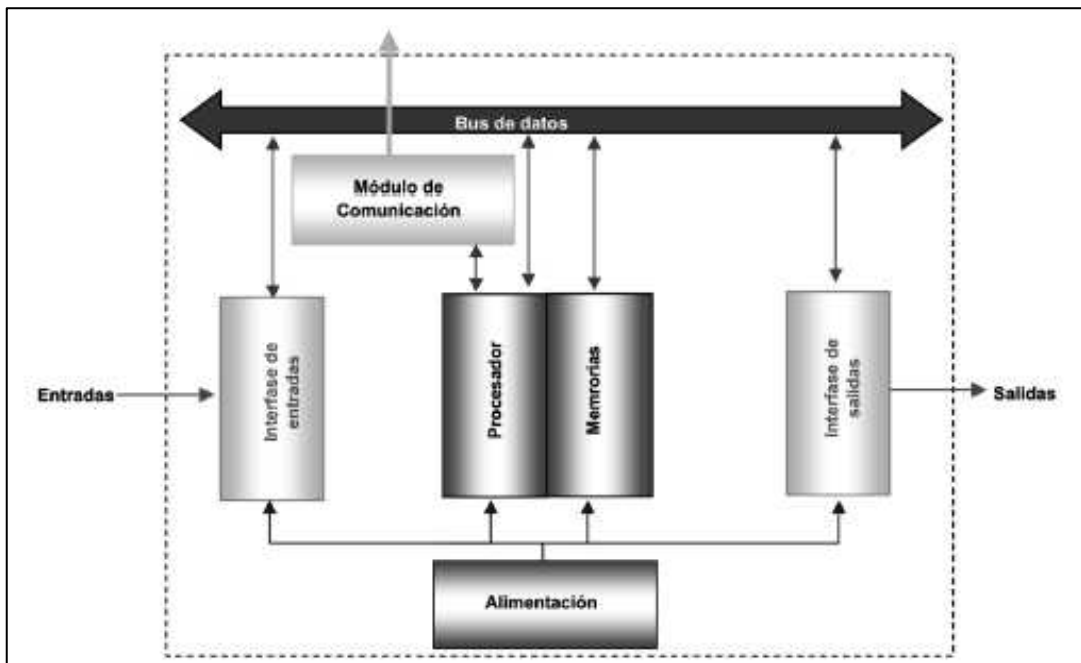


Figura 17-1: Estructura del PLC.

Fuente: (M. Moreno, 2002, p.11)

1.5.4.1. Procesador

Esta parte del PLC corresponde al cerebro del dispositivo, es la parte más importante de un controlador, ya que es aquí donde se ejecuta el programa desarrollado por el usuario. A parte de realizar la función de ejecución, cumple otras funciones como son:

(M. Moreno, 2002, p.10)

- Administrar la comunicación que se da entre el PLC y su memoria, así como también la comunicación que se da entre el microprocesador y las entradas y salidas del dispositivo.
- Revisar constantemente y ejecutar los programas que indican autodiagnóstico del proceso.

1.5.4.2. Memoria

En un PLC el manejo de la información debe ser eficaz y seguro, es decir, debe ser capaz de cumplir dos tareas según la necesidad del proceso, estas son de almacenamiento y de retiro de la información, para cumplir esta función trabaja con memorias, mismas que se dividen en:

- Memoria ROM. (solo lectura)
- Memoria RAM. (lectura y escritura)

1.5.4.3. Interfaz de entrada

Los dispositivos que se conectan a las entradas del PLC se encargan de enviar señales o intercambiar datos. Dichos dispositivos se utilizan para conocer de manera exacta las condiciones del entorno en donde se desarrolla cualquier proceso al que estén conectados. (M. Moreno, 2002)

Existen algunos dispositivos capaces de conectarse a la interfaz de entrada del PLC, estos son:

- Sensores (inductivos, capacitivos, ópticos, etc.)
- Sensores de temperatura (termocuplas, pt100)
- Pulsadores
- Encoders
- Termo resistencias

1.5.4.4. Interfaz de salida

Los dispositivos que se conectan a las salidas del PLC se encargan de responder a las señales o a los datos enviados por los dispositivos de entrada, tales como:

- Motores.
- Contactores de motor.
- Electroválvulas
- Indicadores

1.5.4.5. Alimentación

En el PLC se encuentra una fuente de alimentación, la misma que brinda las tensiones para el funcionamiento del proceso que esté conectado. La alimentación al procesador generalmente es de 24Vdc o de 110/220 Vac, esto depende del modelo que se utilice, las interfaces de entrada y salida al igual que el procesador pueden conectarse en dc a 12, 24 y 48 V o en ac a 48, 110 y 220 V.

1.5.5. Funcionamiento del PLC

El funcionamiento del PLC es cíclico y secuencial, esto significa que las operaciones van una tras otra y se repiten de manera continua, estos siempre y cuando el PLC esté conectado a la tensión. (M. Moreno, 2002, p.24)

1.5.5.1. Tiempo de barrido

Corresponde al tiempo en el que el PLC completa un ciclo, a cada ciclo que ejerce una tarea se lo llama barrido, la secuencia típica que se sigue en el tiempo de barrido es la siguiente:

(M. Moreno, 2002, p.24)

- Autodiagnóstico.
- Lectura del registro de las variables de entradas.
- Lectura y ejecución del programa que se encuentra en el PLC.
- Atención de las comunicaciones.
- Actualización del registro de salidas.

1.5.5.2. Modos de funcionamiento del controlador twido

La ejecución de tareas dentro del PLC se realiza de forma normal o periódica, de esta manera se cumple el ciclo de ejecución. (M. Moreno, 2002, p.25)

Ejecución normal. – La ejecución de las tareas en el PLC se da de manera cíclica, figura 18-1, cada que termina el ciclo de ejecución enseguida inicia con uno nuevo, actuando de la siguiente forma:

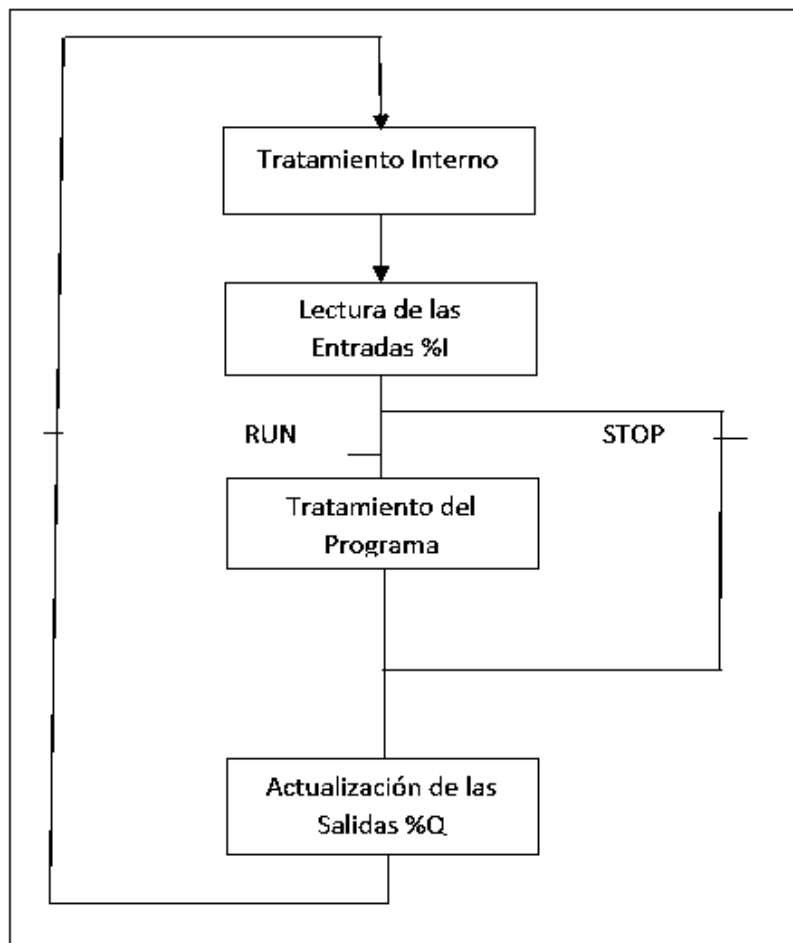


Figura 18-1: Ejecución normal del PLC.

Fuente: (M. Moreno, 2002, p.25)

Ejecución periódica. – En el caso de esta ejecución, el proceso de lectura de las entradas, ejecución del programa y actualización de salidas se dan de manera periódica, estos según el tiempo que defina el usuario en la configuración, como se muestra en la figura 19-1:

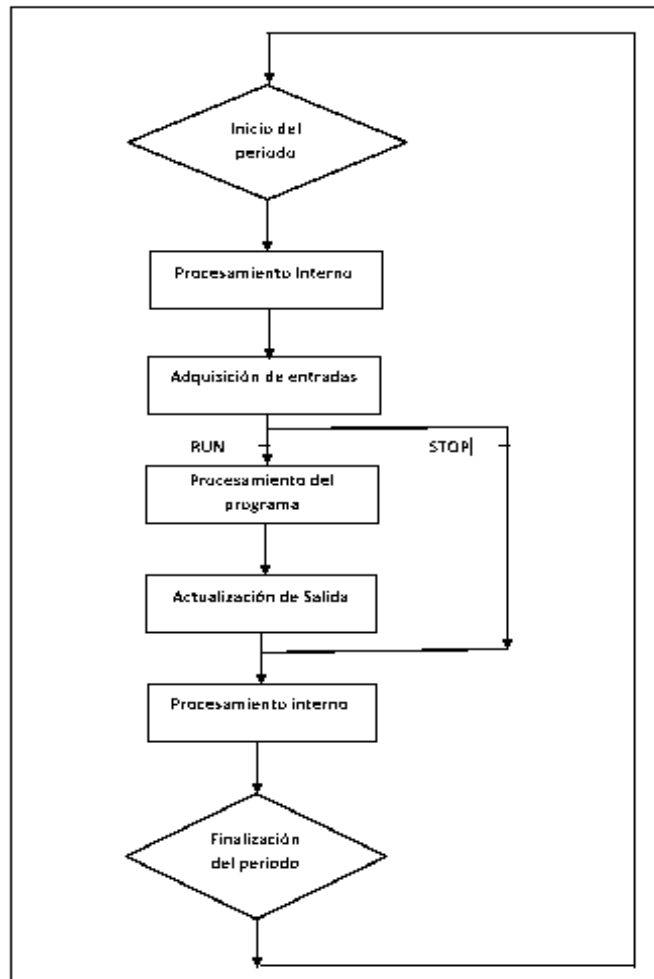


Figura 19-1: Ejecución periódica.

Fuente: (M. Moreno, 2002, p.26)

1.5.5.3. Comprobación de tiempo de ciclo

En esta parte del funcionamiento del PLC el ciclo de tareas se controla por un temporizador que mide el tiempo máximo de la ejecución. Es así que brinda las opciones de mostrar los errores de aplicación y actualización de las salidas. (M. Moreno, 2002, p.27)

1.6 Interfaz Humano Máquina (HMI)

Permite al usuario la interacción con los diferentes procesos que funcionan en el sistema de control, brindando la oportunidad de controlar a los dispositivos según la necesidad que se presente en el entorno industrial, es así que la HMI se ha convertido en una herramienta capaz de controlar, manipular y supervisar las diversas operaciones del sistema.

Se considera a la HMI como una herramienta de gran importancia dentro de los procesos industriales, debido a que no solo puede actuar como interfaz, sino también como un dispositivo capaz de actuar de manera multidisciplinaria dando la posibilidad de obtener sistemas flexibles y eficaces.

1.6.1 Tipos de HMI

Dentro del tipo de proceso que se vaya a realizar, se puede distinguir dos tipos de HMI las cuales son:

Terminal de operador. – Corresponde a un dispositivo que se instala en ambientes robustos, en este caso la interfaz se limita al despliegue de datos numéricos o gráficos. También pueden presentarse en pantalla táctil (touch screen).

PC más software. – El modo de funcionamiento de este caso se basa en cargar algún tipo de software que sea apropiado para que comunique con la HMI. La implementación de la PC depende del proceso que se vaya a realizar o del dispositivo HMI que se va a utilizar.

1.6.2 Funciones de la HMI

(Wonderware, 2017, p.1)

- Mostrar datos e información del proceso que se realiza en tiempo real.
- Visualiza los gráficos que representen al proceso, aportando con un significado preciso de los actuadores.
- Suministra información necesaria para la operación del proceso, y permite controlar la producción y sus procesos.
- Brinda la opción de traducir las variables del proceso, en datos que puedan ser tabulados para ser procesados.

1.7 Variador de Frecuencia

Es un dispositivo que permite controlar de manera general cualquier tipo de motor eléctrico de inducción, estos pueden presentarse de corriente continua, en los cuales existe una variación de tensión y de corriente alterna, con una variación de frecuencia. Al variador de frecuencia también se lo conoce como inversores, y sus componentes se muestran en la figura 20-1.

1.7.1 Componentes del variador de frecuencia

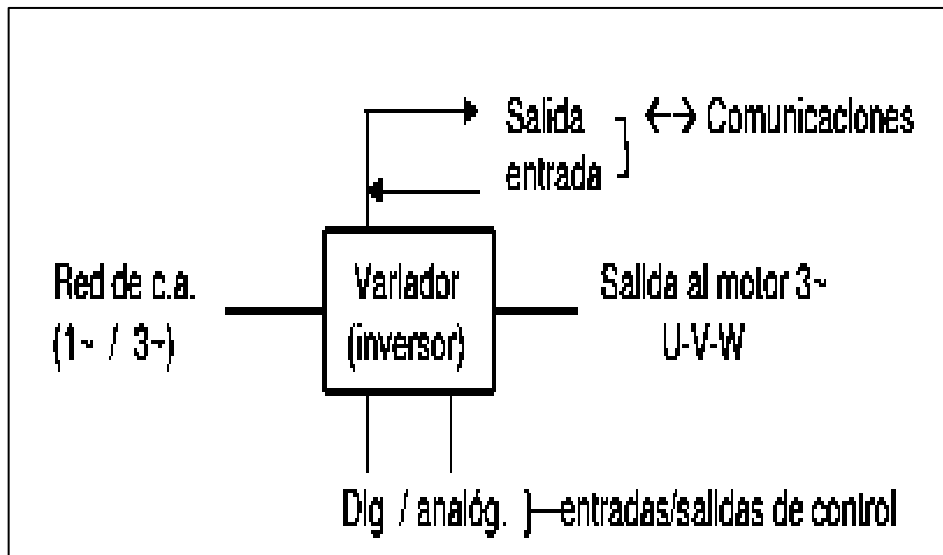


Figura 20-1: Esquema de un variador de frecuencia.

Fuente: (Sevillano, 2016, p.1)

Red de suministro. – Corresponde a la acometida de corriente alterna, las mismas que pueden ser; monofásica, para el manejo de motores con un valor de hasta 1,5 kw y trifásica, cuando se emplea motores con un valor de 630 kw o más.

Entradas y salidas. – Existen diferentes tipos de conexiones para las entradas y salidas de control, las mismas que pueden presentarse de tipo digital, para el control de contactos, pulsadores, conmutadores, etc., y de tipo de analógico, las cuales pueden ser medidas por valores de tensión de 0 a 10 V, e intensidad de 4 a 20 mA.

Comunicaciones. – En redes industriales pueden integrarse estos dispositivos, debido a esta razón se dispone con un puerto de comunicaciones, el mismo que puede ser RS – 232, RS – 485, red tipo LAN, buses industriales (MODBUS, PROFIBUS, etc.), conexión RJ – 45, el uso de USB se da para terminales externos y los ordenadores.

Salida. – La conexión que va al motor generalmente es de tres hilos, cuando se trata de una conexión directa la configuración del motor es en triangulo o en estrella, esto depende de la tensión del motor.

1.7.2 Diagrama de un variador de frecuencia.

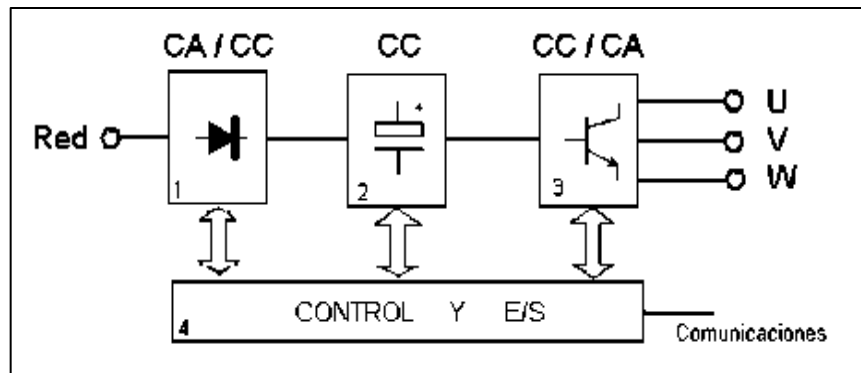


Figura 21-1: Diagrama de bloques de un variador de frecuencia.
Fuente: (Sevillano, 2016, p.1)

Rectificador. – Mediante diodos rectificadores, se obtiene una corriente continua, independientemente si la carga es monofásica o trifásica, partiendo del suministro de corriente alterna.

Bus de continua. – Aquí se encuentran condensadores de gran capacidad, los cuales se encargan de almacenar y filtrar la corriente continua que se ha sido rectificada, con el objetivo de tener un valor de tensión continuo estable, es así que se reserva la energía suficiente para proporcionar la corriente que requiere el motor.

Etapa de salida. – Se parte del valor de tensión continuo, y se tiene la intervención de un ondulator, el mismo que convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de salida variables, estos son tensión, corriente y frecuencia.

Control y entradas y salidas. – Los circuitos de control de los distintos bloques del variador tales como los de protección, regulación se analizan en la parte de control, así como también las entradas y salidas analógicas y digitales.

1.8 Sistemas de Bandas Transportadoras

En la actualidad, dentro de los diferentes sistemas industriales se ve la necesidad de incluir diversas instalaciones que complementan el proceso a realizarse. Es así que el manejo de una banda transportadora, figura -1, en el procesamiento de ciertos productos industriales, es de gran

importancia, debido a que dichos productos se ven sujetos a diferentes movimientos, dependiendo de la estructura física. (López, 2008, p.2)



Figura 22-1: Banda Transportadora
Fuente: (FLEXLINK, 2015, p.1)

Los sistemas de bandas transportadoras, desempeñan un rol importante en la industria, debido a las extensas distancias en que se efectúa el transporte de los productos, la facilidad de instalación en el campo de trabajo y la posibilidad de transportar diversos tipos de materiales. (López, 2008, p.4)

1.8.1 Áreas de desempeño de las bandas transportadoras

Las áreas donde se puede encontrar la instalación de un sistema de bandas transportadoras, se muestran a continuación:

(López, 2008, p.6)

- Industrias extractivas
- Industrias siderúrgicas
- Instalaciones portuarias
- Centrales térmicas
- Industria automotriz
- Alimentos enlatados
- Plásticos

- Neumáticos

1.8.2 Ventajas de las bandas transportadoras

- Permiten el transporte de distintos tipos de materiales a distancias largas.
- No dañan al material que está siendo transportado.
- Es posible la carga y descarga en cualquier punto del proceso.
- Se puede desplazar con facilidad dentro del sistema donde se haya implementado.
- Aumenta la cantidad y calidad de producción.

1.8.3 Tipos de bandas transportadoras

Existen diferentes tipos de bandas transportadoras, las cuales varían según el proceso en el que se va implementar, así como también el ambiente y las condiciones del lugar del trabajo. A continuación, se presentan las siguientes:

Bandas de Caucho. – Se las utiliza en el transporte interno y externo de materiales de tipo granel. Este tipo de bandas se las encuentra en: canteras, industria minera, industria cementera y hormigón, etc. (López *et al.*, 2015, p.8)

Bandas Termoplásticas. – Estas bandas se destinan para el transporte interno de materiales no abrasivos, en aplicaciones sobre la industria alimenticia. Este tipo de bandas se las encuentra en el sector farmacéutico, artes gráficas, reciclaje, etc. (López *et al.*, 2015, p.9)

Bandas Modulares. – La construcción de estas bandas se realiza con materiales FDA (polietileno, polipropileno, y poliacetal), estas bandas brindan una buena tracción y alineación, ya que su arrastre es por piñones. Tienen un bajo costo en mantenimiento y se las encuentra en superficies con procesos húmedos. (López *et al.*, 2015, p.10)

Bandas de Malla Metálica. - La utilización de este tipo de bandas se da ambientes de temperaturas altas, poseen espiras de alambre unidas entre sí por varillas rectas. El manejo de estas bandas se da en hornos, congelación y enfriamiento, sintetizado, filtrado. (López *et al.*, 2015, p.11)

1.8.4 Banda Plástica Modular Intralox



Figura 23-1: Banda transportadora plástica modular Intralox
Fuente: (GSM Conveyors The World, 2017, p.1)

Este tipo de bandas modulares son fáciles de ensamblar, debido a esta razón es que Intralox brinda la oportunidad de construir bandas de cualquier tamaño. Su elaboración es mediante módulos de plástico montados en patrones de ladrillos intercalados con varillas de articulación pequeñas. Estas bandas son accionadas con engranajes plásticos. (PROVAC, 2015, p.1)

1.8.4.1 Características generales de la banda plástica modular Intralox

(PROVAC, 2015, p.1)

- Su fabricación se la realiza a la medida exacta.
- Alineación mediante sprockets.
- Reemplazan a las bandas metálicas y de caucho.
- El diseño modular permite que la fabricación sea de cualquier medida en ancho y largo.
- Son diseñadas para tener un contacto directo con cualquier tipo de alimentos.

1.9 Componentes Electrónicos del Sistema

1.9.1 Sensores

Estos dispositivos convierten una señal de un tipo a otro, es decir permite percibir cantidades físicas que usualmente no se las puede leer. Los sensores, figura 19-1, generan una salida transducible, la cual se encuentra en función de la variable que se desea medir, es así que existen diferentes tipos de señales dentro del control industrial, tales como, ópticas, eléctricas, térmicas, mecánicas, moleculares y magnéticas. (Castro, 2008, p.16)



Figura 24-1: Sensores
Fuente: (Automation, 2017, p.1)

1.9.1.1 Estructura de un sensor

En la figura 20-1, se presenta la estructura de un sensor, en base al funcionamiento dentro del control industrial.

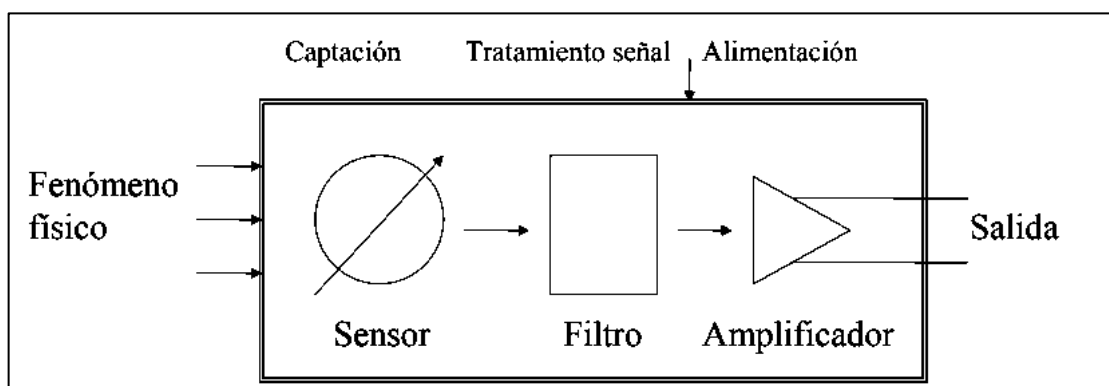


Figura 25-1: Estructura de un sensor.
Fuente: (ISA, 2008, p.3)

1.9.1.2 Tipos de Sensores

Sensores de Longitud. - Conocidos como sensores de desplazamiento, los cuales tienen la capacidad de medir desde pequeñas a grandes distancias. Estos pueden ser ópticos y eléctricos. (Castro, 2008, p.11)

Sensores de Temperatura. – La construcción de estos sensores se basa en resistencia térmicas, mismas que son metales encapsulados no conductores, estos pueden ser cobre, platino y níquel. Dichos dispositivos se usan entre temperatura que oscilan desde -200°C a 300°C para el tipo de material níquel y cobre, mientras que para el material de platino puede medir hasta los 900°C. (Castro, 2008, p.13)

Sensores de Presión. – Para medir la unidad de presión, se compara la fuerza con otra, generalmente se hace referencia con la fuerza ejercida por la atmósfera, los métodos de medición pueden ser por desplazamiento utilizando el barómetro, y por deformación. (Castro, 2008, p.16)

Sensores de Nivel. – La construcción de estos sensores se basan en un flotador, mismo que se conecta de diversas formas a sensores de movimiento o a sensores de presión diferencial. (Castro, 2008, p.22)

Sensores de Luz. – También conocidos como fotodetectores, son sensores que cubren el rango de visibilidad y regiones que se encuentran próximos al espectro infrarrojo. (Castro, 2008, p.23)

1.9.2 Elementos de Protección

Los elementos de protección, figura 21-1, son dispositivos que se encargan de resguardar a las instalaciones eléctricas, así como también la seguridad laboral de los operarios que deben ejecutar maniobras en diferentes tensiones. Estos equipos representan una parte importante en las instalaciones de tableros eléctricos de control industrial, así como también en pequeñas instalaciones que se puede encontrar diariamente.



Figura 26-1: Elementos de protección eléctrica.

Fuente: (Industria 4.0, 2008, p.1)

1.9.2.1 Ventajas de la utilización de elementos de protección

Existen ciertas ventajas en la utilización de los elementos de protección, las cuales se presentan a continuación:

(Electric, 2009, p.4)

- Protegen los conductores y los equipos que se encuentren instalados en el cualquier sistema, contra los efectos de una temperatura excesiva.
- Se encargan de interrumpir la energía eléctrica, en caso de que exista algún tipo de falla en el sistema.
- Protegen de sobrecorrientes, las mismas que son causadas por sobrecargos, cortocircuitos o fallas en la puesta a tierra.

1.9.2.2 Tipos de elementos de protección

Fusible. – Este elemento corresponde a un cilindro compuesto por un conductor calibrado, capaz de soportar paso de intensidades. En caso de existir una sobreintensidad, el conductor se calienta y se funde, logrando abrir el circuito y evitando daños en los equipos o en las instalaciones. (GodoFredo, 2012, p.1)

Breaker Magnetotérmico. – Este dispositivo es un elemento de protección, se considera al más empleado dentro de las instalaciones eléctricas. Su funcionamiento se basa en el del fusible, con la diferencia de que, si llega a existir sobreintensidad, no hay necesidad de cambiarlo, basta con subir una palanca de plástico para volver a ser accionado. (GodoFredo, 2012, p.1)

Breaker Diferencial. – Es un elemento que funciona con la puesta a tierra, debido a esta razón, es que, si no existe una toma a tierra, el interruptor diferencial no garantiza ningún tipo de protección. (GodoFredo, 2012, p.1)

ICP. - Es un elemento que es instalado por la empresa de energía eléctrica, dependiendo de la tarifa de consumo. Este dispositivo tiene como función, abrir el circuito cuando se haya superado el consumo que se tenga contratado. (GodoFredo, 2012, p.1)

1.9.2.3 Breaker Termomagnético de Schneider Electric

El breaker termomagnético de Schneider Electric, figura -1, es un dispositivo que se maneja a una corriente nominal de 50 A, mismo que es idea para trabajar en sistema de media tensión, así como también de alta tensión dependiendo de los valores nominales de los equipos conectados.



Figura 27-1: Breaker Termomagnético Schneider Electric.

Fuente: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael, 2018

1.9.3 Elementos de mando

Los elementos de mando son dispositivos que brindan la opción de manipular los equipos del algún sistema, sin necesidad de cortar la energía eléctrica del proceso, es decir la implementación de los elementos de mando permiten manejar a la necesidad del operario todo el sistema. Dentro de estos elementos se tiene:

1.9.3.1 Pulsadores

Estos dispositivos tienen como función permitir o impedir el paso de energía, pueden ser de contactos normalmente abiertos o cerrados, según la necesidad del proceso o del usuario. Generalmente los pulsadores más comunes son: de color verde para arranque y rojo para paro.



Figura 28-1: Pulsador eléctrico
Fuente: (Adjusa, 2017, p.1)

1.9.3.2 Selectores

Estos dispositivos al igual que los pulsadores, tienen la función de permitir o impedir el paso de energía, con la diferencia que dependiendo de las posiciones del selector puede cumplir las funciones de dos o más pulsadores en uno solo.



Figura 29-1: Selector de dos posiciones con llave.
Fuente: (Adjusa, 2017, p.1)

1.9.4 Elementos de Señalización

Los elementos de señalización, son dispositivos que brindan la posibilidad de indicar el estado en el que se encuentra el proceso, al igual que los pulsadores, se los puede distinguir por colores, generalmente luz roja corresponde para informar sobre el paro o avería del proceso y la luz verde indica que el proceso se encuentra en funcionamiento.



Figura 30-1: Lámpara piloto
Fuente: (Adjusa, 2017, p.1)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Introducción

En el presente capítulo, se presenta el proceso secuencial que se siguió con el fin de lograr la implementación del sistema, como son: la descripción del proceso, la selección de los elementos y componentes del sistema; el diseño e implementación de la red Profibus, del prototipo para el control de la reactivación de la pega en el caucho, y el diseño y programación del HMI con los resultados del sistema.

Se aplica una metodología experimental, para obtener resultados cuantitativos y cualitativos. En la figura 1-2, se muestra las etapas, para alcanzar estos objetivos.

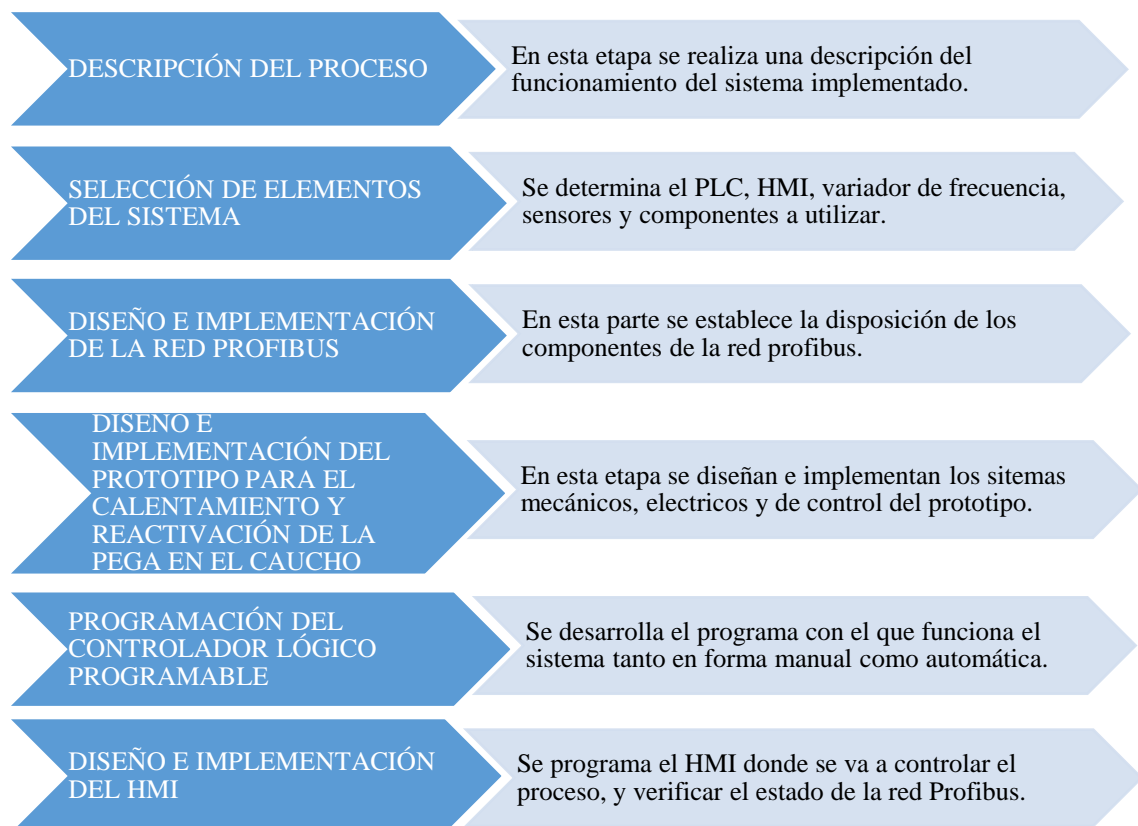


Figura 1-2: Etapas para el diseño e implementación del sistema.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Se emplea la técnica de observación, para recolectar información referente a la red Profibus; para la elaboración de cuadros y gráficos se utiliza la técnica de análisis de contenido.

2.2. Descripción del proceso

Las etapas de funcionamiento del sistema se presentan en la figura 2-2.

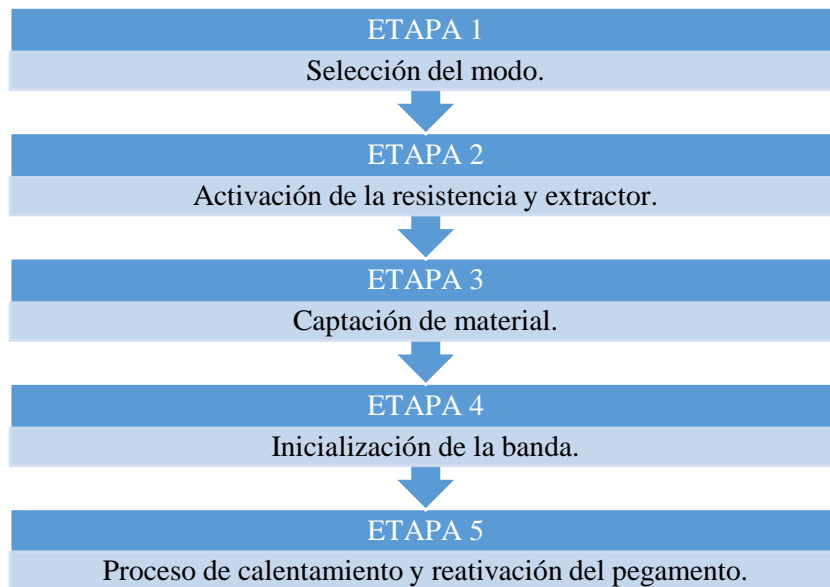


Figura 2-2: Etapas de funcionamiento del sistema.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

El proceso del sistema, inicia con la selección del modo de operación mismo que puede ser manual y automático. En el modo manual se puede ingresar la velocidad para controlar el movimiento del motor, de igual manera permite el encendido y apagado de los actuadores del sistema como son: la resistencia y el ventilador. Además, se puede verificar el estado del mismo a través de la interfaz gráfica.

En el modo de operación automático, en la etapa dos una vez presionado el botón de inicio se procede a la activación simultánea de la resistencia y extractor de gases del sistema; previo al paso a la siguiente etapa se controla el seguimiento de temperatura a través de sensores, hasta alcanzar la temperatura de trabajo. Posterior a esto en la tercera etapa el operario ubica la pieza de caucho en el inicio de la banda transportadora, donde un sensor láser verifica la presencia del mismo a través de la interrupción de su haz de luz.

Verificada la presencia del material, y alcanzada la temperatura de trabajo en la etapa cuarta se procede al accionamiento el motor a una velocidad en función de la temperatura, manteniéndose

en un rango constante haciendo que la pieza de caucho atraviese la banda transportadora logrando realizar el proceso de recalentamiento del pegamento en el caucho.

Finalmente, en la etapa quinta un sensor láser ubicado al final del prototipo detecta que el material ha recorrido completamente la banda, dando por finalizado el proceso. En todo momento el estado del sistema se puede monitorear con ayuda de una interfaz gráfica.

2.3. Selección de elementos

Una vez analizado el proceso, se presentan la selección de los elementos que conforman el sistema. Dentro de esta etapa se aplica el método inductivo, el mismo que permite determinar las características generales y específicas, indagando las mejores opciones para que el sistema tenga un funcionamiento adecuado.

El análisis de cada uno de los dispositivos se detalla a continuación, con sus especificaciones y características técnicas.

2.3.1. Selección del PLC

Para el control del sistema se selecciona el controlador lógico programable correspondiente al PLC Siemens S7 1215 ac/dc/rly, figura 3-2, el cual está formado por un microprocesador que se encarga de ejecutar los procesos y las funciones de las entradas y salidas. Posee dos regletas de conexión, las mismas que son de los pines de alimentación, de entradas y salidas.

La razón por la que se optó a la selección del mismo es por la opción a la expansión de actuadores dentro del sistema implementado, además de presentar compatibilidad para la conexión del módulo maestro Profibus.



Figura 3-2: PLC Siemens S7-1215 AC/DC/RLY.
Fuente: (RS, 2014, p.1)

En la tabla 1-2 se muestran las características técnicas correspondientes al PLC las diferentes características que tiene el PLC Siemens S7 1215 ac/dc/rly:

Tabla 1-2: Características del PLC Siemens S7-1215 AC/DC/RLY

Datos técnicos	Características
Dimensiones (mm)	130 x 100 x 75
Peso	550 gr
Número de entradas	14
Número de salidas	10
Entradas analógicas	2
Número de puertos profinet	2
Direcciones de entradas y salidas	Entradas: DI a.0 – DI a.7 DI b.0 – DI b.5
	Salidas:
Alimentación	Pines L1 y N se conectan a 120 – 240 Vac
Voltaje de operación de entrada	24Vdc
Voltaje de funcionamiento	85 – 264 Vac
Frecuencia	50/60 Hz
Temperatura ambiente	0°C – 70°C

Tipos de puertos de comunicación	Ethernet, profinet, UDP
Memoria disponible	4 MB
Interfaz de programación	Profinet

Fuente: (RS, 2014, p.1)

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael, 2018

2.3.2. Selección del HMI

Mediante la pantalla se realiza el control del sistema y la supervisión del proceso dentro de cualquier estado que se encuentre el mismo. Se ha seleccionado la pantalla táctil KTP 700 BASIC, figura 4-2, debido a que la programación se la realiza en el software TIA Portal, el cual ha sido utilizado para la programación principal del proceso. Su alimentación es a 24Vdc, se conecta al PLC mediante el protocolo profinet, con cable RJ45.



Figura 4-2: HMI KTP-700 Basic.

Fuente: (AIRSENSE, 2014, p.1)

En la tabla 2-2 se muestran las características correspondientes a la HMI KTP-700 Basic:

Tabla 2-2: Características de la HMI KTP-700 Basic

Datos técnicos	Características
Tamaño de pantalla	7"
Tipo	KTP700 BASIC
Interfaz	Ethernet, USB
Ancho	154,1 mm
Alto	85,9 mm

Fuente de alimentación	24 Vdc
Rango de tensión admisible	19,2 a 28,8 Vdc
Consumo de corriente	230 mA
Material de la carcasa	Plástico
Rango de temperatura de trabajo	0° a 50° C
Memoria almacenamiento	10 MB
Protocolos	Profinet
Reloj de sistema	Reloj de hardware

Fuente: (Automation 24, 2014, p.1)

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael, 2018

2.3.3. Selección del variador de frecuencia

Se selecciona el variador de frecuencia ATV-312 de Schneider Electric, figura 5-2, debido a que brinda la posibilidad de realizar la conexión Profibus. El funcionamiento de este equipo se basa en la configuración maestro – esclavo, siendo el variador ATV-312 el que actúa como esclavo dentro del montaje de la red Profibus.



Figura 5-2: Variador de frecuencia Schneider Electric – ATV 312.

Fuente: (AXIMA, 2017, p.1)

El variador ATV-312 presenta algunas características, tabla 3-2, referentes a su funcionamiento, alimentación y comunicación, las cuales son:

Tabla 3-2: Características del variador ATV-312

Detalle	Características
Frecuencia de salida	0,5 – 500 Hz
Rango de tensión de alimentación para redes de 50-60 Hz	Monofásica de 200-240 VAC
	Trifásica de 200-240 VAC
	Trifásica de 380-500 VAC
	Trifásica de 525-600 VAC
Número de funciones	50
Número de velocidades preseleccionadas	16
Número de entradas/salidas	Entradas analógicas: 3
	Entradas lógicas: 6
	Salidas analógicas: 1
	Salidas de relé: 2
Comunicación	Integrada: Modbus y CANopen
	Opcionalmente: CANopen Daisy chain, DeviceNet, PROFIBUS DP, Modbus TCP, Fipio.
Normas y Homologaciones	IEC/EN 61800-5-1
	IEC/EN 61800-3
	UL, C-Tick, NOM, GOST

Fuente: (Electric, 2009b, p.14)

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael, 2018

2.3.4. Selección de módulo Maestro – Profibus

La selección de este dispositivo, corresponde al módulo maestro Profibus Siemens CM 1243-5, figura 6-2, el cual va conectado al PLC, la función de este dispositivo sobre el montaje del sistema de bus de campo Profibus, es la de maestro DP. Este módulo permite la comunicación con el variador de frecuencia, el mismo que cumple la función de esclavo DP dentro del montaje de la red.



Figura 6-2: Módulo maestro Profibus.
Fuente: (Net, 2017, p.3)

El módulo maestro CM 1243-5, presenta algunas características, referentes a su funcionamiento, alimentación y comunicación, mismas que se presentan en la tabla 4-2:

Tabla 4-2: Características del módulo maestro Siemens CM 1243-5.

Detalle	Característica
Referencia	6GK7 243-5DX30-0XE0
Conexión a Profibus	Conexión hembra de 9 polos
Condiciones ambientales	-40°C – 70°C
Clase de protección	IP20
Tipo de alimentación	DC
Tensión de alimentación	24 V
Corriente absorbida	100 mA
Potencia activa perdida	2,4 W
Ancho	30 mm
Altura	100 mm
Profundidad	75 mm
Peso neto	134 g

Fuente: (Net, 2017, p.33)

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael, 2018

2.3.5. Selección de sensores

Para la implementación del prototipo se requiere el control de: presencia de material y temperatura, para conseguir el proceso de reactivación del pegamento en el caucho. Por este motivo se escoge el sensor láser pnp, y el sensor de temperatura pt-100, para realizar el proceso de censado de presencia y temperatura, respectivamente.

Se utiliza el sensor láser, figura 7-2, con la finalidad de detectar el objeto que se va utilizar en el proceso, se implementa dos sensores, uno a cada extremo de la cámara de calor, los cuales dan el accionamiento y la detención del motor.



Figura 7-2: Sensor láser PNP.
Fuente: (Led Controls S.A., 2009, p.1)

En la tabla 5-2 se muestran las características correspondientes al sensor láser:

Tabla 5-2: Características del sensor láser pnp.

Detalle	Características
Voltaje de funcionamiento	10 – 30 V
Consumo de corriente	Mayor o igual a 20mA
Carga resistiva	300 Ω - 1K Ω
Temperatura ambiente	-10° – 55° C
Detector de estado	Indicador led rojo
Material de la carcasa	Lata niquelada

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

La selección del sensor de temperatura pt-100, figura 8-2, es debido a la necesidad de la medición de la temperatura del sistema, en el caso del sistema se escoge 3 sensores de temperatura, para tener una medición precisa de las diferentes zonas del proceso.



Figura 8-2: Sensor de temperatura PT-100.
Fuente: (Industrial, 2016, p.1)

A continuación, en la tabla 6-2 se muestran las características más importantes de una pt-100:

Tabla 6-2: Características generales de un sensor PT-100

Consideraciones	Característica
Campo de temperatura	De -200°C a 850°C
Costo	Alto costo
Sensibilidad	Sensibilidad total
Resistencia a la vibración	Menor adaptación
Estabilidad	Excelente
Dureza	Poco robusto
Salida	ohm

Fuente: (SRC, 2016, p.1)

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael, 2018

2.4. Diseño e implementación de la red Profibus

2.4.1. Esquema de la conexión del variador al módulo maestro.

El esquema de conexión de la red Profibus, se realiza en el software AutoCAD Electrical, el cual se basa en el medio de acceso maestro – esclavo, los dispositivos que influyen en este esquema son el módulo maestro y el variador de frecuencia, correspondientes a los equipos principales del montaje de la red.

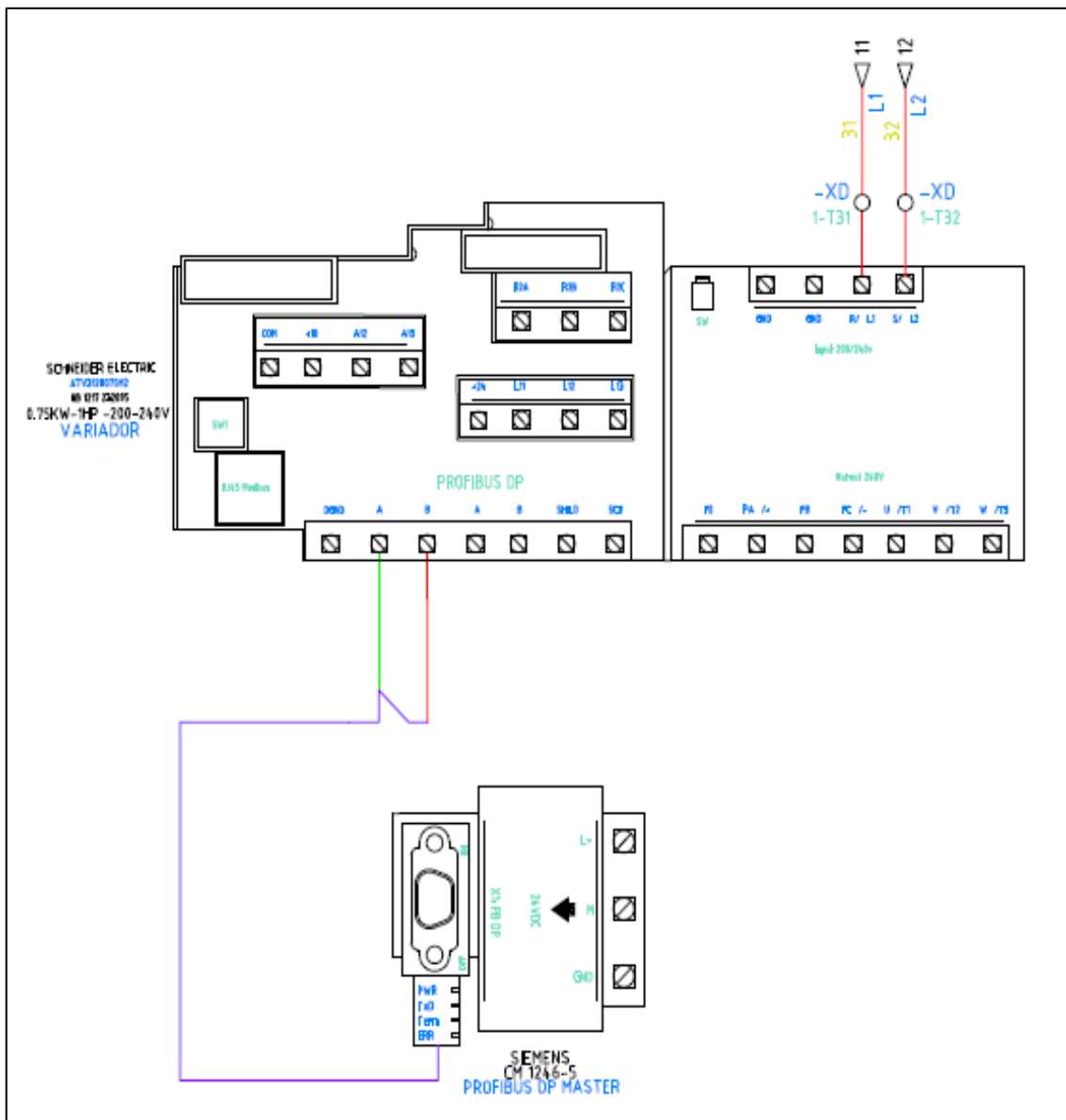


Figura 9-2: Esquema de conexión Profibus.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael, 2018

Como se presenta en la figura 9-2, los dispositivos se conectan por medio del cable Profibus, el cual se conecta del módulo maestro que se encuentra conectado en el PLC, al variador de frecuencia que corresponde al dispositivo esclavo.

En la tabla 7-2, se muestra una breve explicación de la regleta de conexión del variador, siendo el lugar donde se conecta el cable Profibus.

Tabla 7-2: Descripción de los terminales de conexión del variador.

Terminal	Descripción
DGND	Tierra de datos; no conectado
A	RxD / TxD-N: Recibir/ Transmitir-Data-N
B	RxD / TxD-P: Recibir/ Transmitir-Data-P
A	RxD / TxD-N: Recibir/ Transmitir-Data-N
B	RxD / TxD-P: Recibir/ Transmitir-Data-P
SHLD	PROTEGER Nota: Si la abrazadera de EMC no está conectado, conecte el cable escudo PROFIBUS DP a SHLD
SCR	Pantalla: conectada a tierra

Fuente: (Electric, 2009b, p.14)

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

2.4.2. Implementación de la Red Profibus.

Una vez realizado el esquema y la selección de elementos, se procede a la implementación de la red, así como de todos los dispositivos, figura 10-2, donde se muestra los elementos físicos conectados, previo a la programación general del sistema.



Figura 10-2: Implementación de la red y los dispositivos.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael, 2018

2.5. Diseño e implementación del prototipo de reactivación del pegamento.

2.5.1. Diseño mecánico

De acuerdo a la necesidad, se realiza el dimensionamiento de la estructura mecánica con el fin de simular un horno en el cual se vaya incrementando o disminuyendo la temperatura, según sea necesario, en el cual se necesita aproximadamente 30 segundos para que el pegamento se reactive.

Todo el diseño se lo ha realizado en SolidWorks, un programa que se centra en un entorno de diseño en 3D integrado e intuitivo que abarca todos los aspectos del desarrollo del producto, para tener una mejor visualización ya que esta también va a contener gran parte de los elementos electrónicos y mecánicos de todo el sistema.

Para ello se realiza una base con barras de aluminio que van a servir de soporte para la estructura, a la vez estas sostienen a la banda que servirá de transporte para la suela del zapato, figura 11-2. Siguiendo con el diseño secuencial de la estructura mecánica se procede a diseñar el soporte estructural para el motor que es el que permite que el movimiento de la banda sea posible, de igual manera se procede a verificar en que parte de la estructura se instalaran los sensores de presencia y también los sensores de temperatura, lo cual es fundamental para el análisis final del proceso.

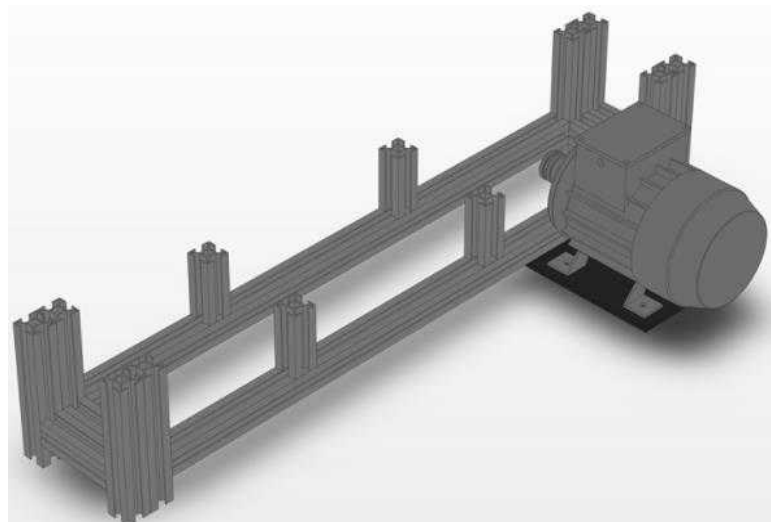


Figura 11-2: Base principal de la banda transportadora.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

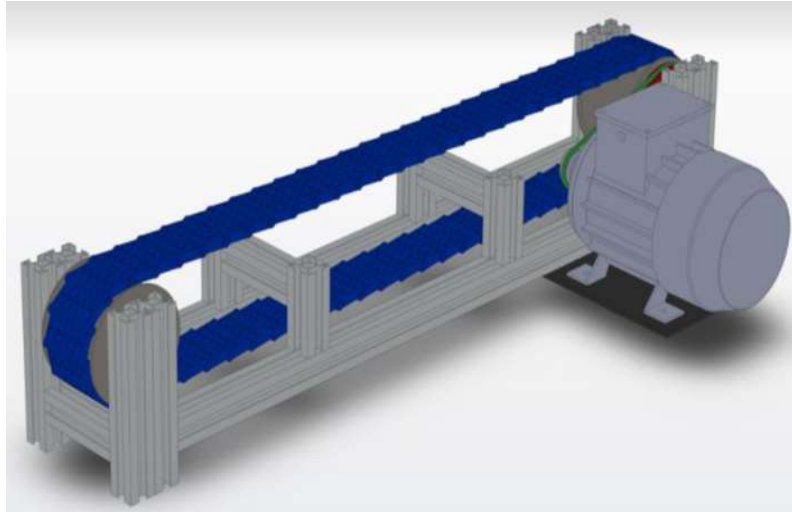


Figura 12-2: Base y banda transportadora.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

En el diagnóstico de la planta en tiempo real se presenta que, la máquina tiene que sufrir cambios de temperatura, es decir, que la misma variable vaya incrementándose o disminuyéndose según la necesidad del proceso, por lo cual se ha realizado una cámara que cubra la estructura simulando un horno en el cual cumpla las expectativas del usuario, figura 13-2.

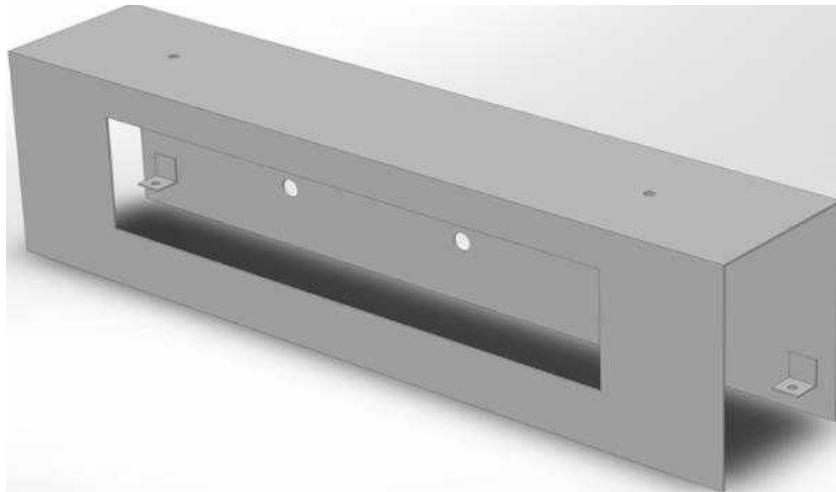


Figura 13-2: Cubierta de la banda transportadora.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Finalmente, con el diseño de cada parte del sistema mecánico de la banda se realiza el respectivo ensamblaje virtual, figura 14-2, y la simulación de todo el sistema para tener una mejor perspectiva de cómo va a ser el funcionamiento físico real, para todo esto se ha escogido de manera selectiva los materiales que van a ser utilizados para su ensamblaje físico, basando en las normas de construcción se ha determinado un sobredimensionamiento de material del 25%.

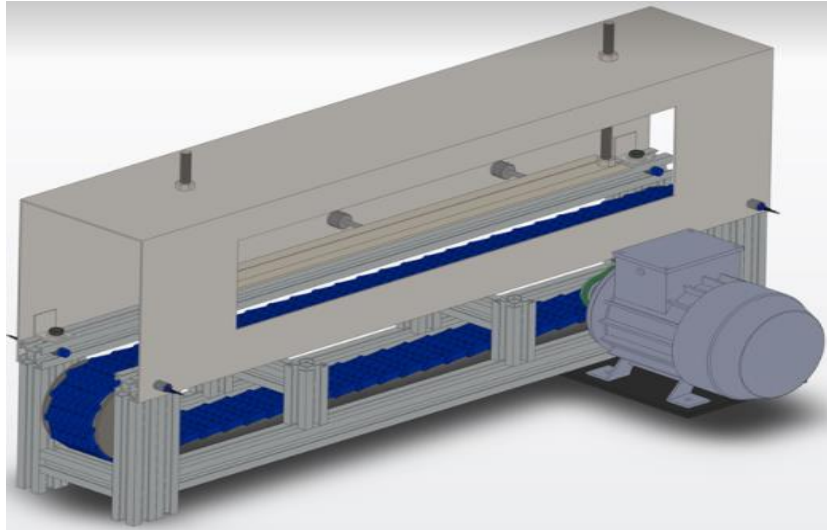


Figura 14-2: Prototipo para el calentamiento y reactivación.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

- Banda transportadora (material intralox).
- Cubierta del Horno realizado en aluminio.
- Barras de aluminio para la estructura.
- Motor 1/2 HP.
- Poleas para el giro del motor.

2.5.2. Visualización virtual del prototipo

Con el diseño mecánico culminado, se procede a realizar el montaje virtual de toda la estructura para una mejor visualización, figura 15-2.

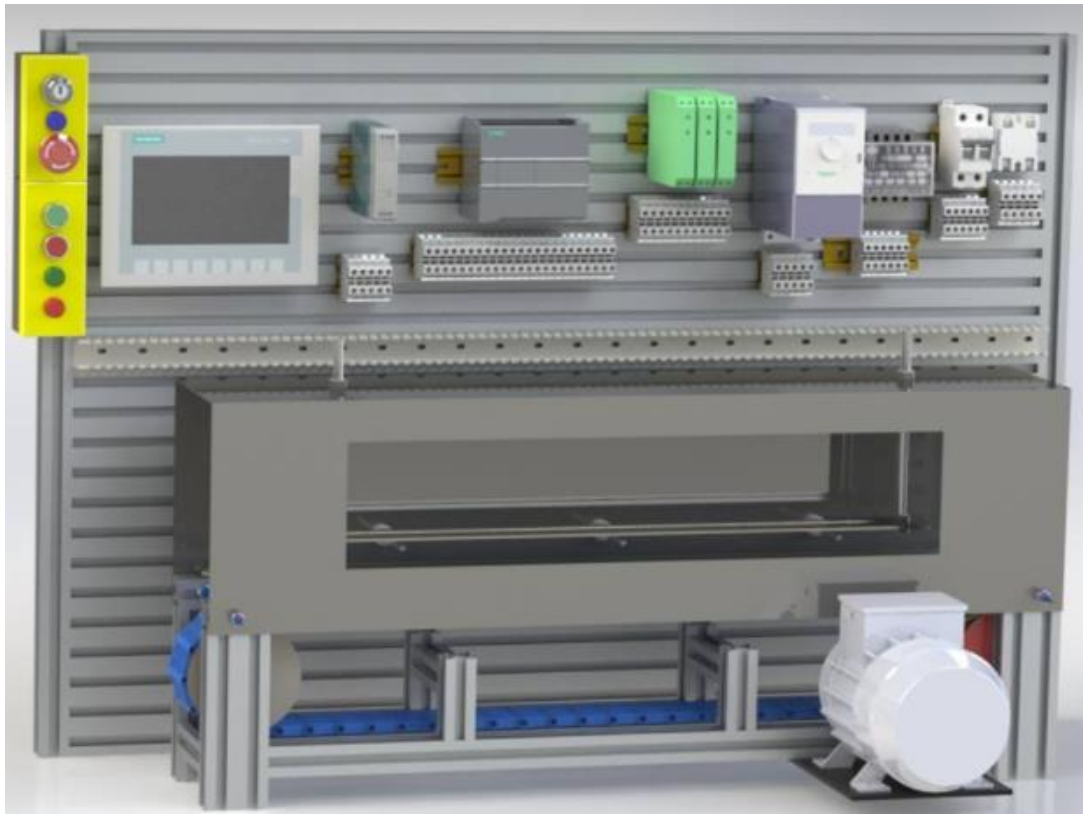


Figura 15-2: Prototipo con el tablero de control.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

2.5.3. *Diseño eléctrico*

Para la implementación de la red Profibus e interacción con el resto de los dispositivos se dimensiona los conductores encargados de llevar la corriente eléctrica a cada uno de los mismos, esta manera se pretende evitar sobrecargas o averías en el sistema, protegiéndolo contra cualquier tipo de daño eléctrico.

2.5.3.1. *Dimensionamiento del calibre de la acometida principal*

Una forma de dimensionar el calibre de la acometida principal es relacionando con la carga que soporta cada uno de los dispositivos, con ayuda de la ecuación 1-2 se realiza el siguiente cálculo:

Ecuación 1-2: Ecuación para calcular la corriente de carga.

$$I_c = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Donde:

I_c = Corriente de carga

I_1 = Corriente de la fuente de alimentación

- I2= Corriente del variador de frecuencia
 I3= Corriente del transformador
 I4= Corriente de resistencia

$$I_c = 1.9 + 8.9 + 1.36 + 4.5$$

$$I_c = 16.66 * 1.25 = 20.83$$

Se multiplica al valor equivalente por el factor de reserva para aumentar un 20 % de capacidad al alimentador, para así no tener problemas si el sistema eléctrico sufre de cambios en su configuración.



Alambres y Cables Tipo THW-LS/THHW-LS
Alambres y Cables THWN / THHN
Alambres Duplex TWD 600 V Antiflama

Calibre AWG kCM	Número de Hilos	Diámetro Conductor mm	Espesor del Aislamiento mm	Diámetro Exterior o/Aislamiento mm	Área Sección Transversal mm ²	Cap. de Conducción Corriente Amperes			Resistencia Ω/km 20°C C.D.	Peso Aproximado kg/100 m
						Aire	Cond.	Charola		
Alambres										
14	1	1.62	0.76	3.14	2.082	30			8.28	2.74
12	1	2.05	0.76	3.57	3.307	40			5.21	4.00
10	1	2.58	0.76	4.11	5.260	55			3.28	5.93
8	1	3.26	1.14	5.54	8.367	70			2.06	9.94
Cables										
20	7	0.92	0.76	2.44	0.517		7	7	33.9	1.11
18	7	2.93	0.76	2.68	0.832		10	10	21.4	1.48
16	7	3.70	1.14	2.98	1.307		20	25	13.5	2.05
14	7	1.85	0.76	3.37	2.082		25	30	8.45	2.93
12	7	2.33	0.76	3.85	3.307		30	40	5.32	4.28
10	7	2.93	0.76	4.45	5.260		40	55	3.34	6.36
8	7	3.70	1.14	5.98	8.367		50	70	2.10	10.61
6	7	4.67	1.52	7.71	13.300		70	100	1.32	17.17
4	7	5.88	1.52	8.92	21.150		90	135	0.832	25.54
2	7	7.42	1.52	10.46	33.620		120	180	0.523	38.55
1/0	19	9.15	2.03	13.21	53.480		155	245	0.329	62.33
2/0	19	10.27	2.03	14.33	67.430		185	285	0.261	76.82
3/0	19	11.53	2.03	15.59	85.010		210	330	0.207	94.95
4/0	19	12.95	2.03	17.01	107.20		235	385	0.164	117.63
250	37	14.62	2.41	19.44	126.70		270	425	0.139	141.12
300	37	16.01	2.41	20.83	152.00		300	480	0.116	166.95
350	37	17.29	2.41	22.11	177.30		325	530	0.0992	192.75
400	37	18.49	2.41	23.31	202.70		360	575	0.0868	218.49

NOTA: SON VALORES APROXIMADOS SUJETOS A TOLERANCIAS DE MANUFACTURA.

Factores de Corrección.

Por Agrupamiento		Por Temperatura	
No. Conductores	Multiplique por	Temp. Ambiente	Multiplique por
1-3	1.00	0-30	1.00
4-6	0.80	31-40	0.91
7-24	0.70	41-45	0.87
25-42	0.60	46-50	0.82
MAS DE 42	0.50		

Figura 16-2: Tabla para calibres de conductores eléctricos UISA.

Fuente: (Guerrero, 2010, p.1)

La corriente equivalente obtenida es de 20.83 A y de acuerdo a la figura 16-2 el conductor número 14 AWG tiene una capacidad de corriente de 25 A, lo que corresponde a una aproximación acertada al valor utilizado.

2.5.3.2. Dimensionamiento de los conductores de control

La forma para dimensionar el calibre de la parte de control es utilizando la corriente máxima de salida que puede entregar el PLC que es de 2 A.

Ic1= Corriente de carga

I1= Corriente de salida PLC

$$Ic1=I1*1.25$$

$$Ic1=2*1.25=2.5$$

Al igual que en el apartado anterior se multiplica por el factor de reserva 1.25, obteniendo una corriente equivalente a 2.5 A y de acuerdo a las normas NEC si no supera una corriente de 5.6 se conectarán con un conductor de calibre #18 AWG

2.5.3.3. Dimensionamiento del breaker

Este dispositivo se encarga de proteger a todo el sistema contra sobre corrientes y para hacer una correcta selección nos basamos en la corriente de 20.83 A.

2P

Breakers Termomagnéticos	
Corriente Nominal (In)	Curve C
6 A	EZ9F56206
10 A	EZ9F56210
16 A	EZ9F56216
20 A	EZ9F56220
25 A	EZ9F56225
32 A	EZ9F56232
40 A	EZ9F56240
50 A	EZ9F56250
63 A	EZ9F56263

Figura 17-2: Tabla de selección de breakers.

Fuente: (Electric, 2014, p.4)

2.5.4. Sistema de control por histéresis

Para el diseño del sistema se ha tomado en cuenta el proceso a realizar por la planta, como se muestra en la figura 18-2, por lo cual se ha optado por un sistema de control por histéresis aplicado a la variable temperatura y también a la activación y desactivación del extractor de gases, ya que, el proceso puede emanar gases tóxicos, que pueden ser perjudiciales para la salud del operario que se encuentre cerca del sistema.

Con este control se logra mantener el equilibrio de la planta, comparando el valor real de la variable del proceso y el valor deseado como medio para controlar el sistema, es aquí donde se aplica el control por histéresis, ya que se ha dado rangos en donde la planta estará trabajando y una vez que haya alcanzado la consigna de entrada o el SETPOINT el proceso entra en marcha y ejecución.

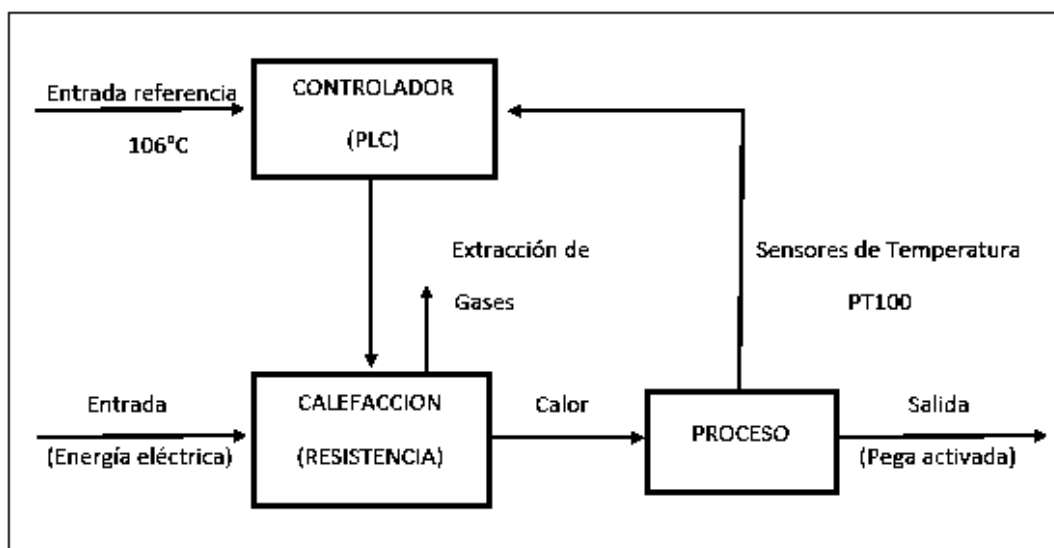


Figura 18-2: Diagrama de bloques del sistema.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

2.6. Programación del controlador lógico programable

2.6.1. Entorno de programación Tia Portal

Para la realización del programa se utiliza el software TIA Portal, el cual proporciona confiabilidad en la ejecución de todos los procedimientos de procesamiento, con una interfaz gráfica amigable con el usuario y la facilidad de manipulación de los datos.

Con conocimiento del proceso a realizar y la lógica del controlador, se ingresan los dispositivos industriales haciendo también la configuración de la pantalla HMI en red con el resto de los dispositivos, siguiendo los siguientes pasos.

Paso 1: TAREAS DEL PORTAL SELECCIONADO

- Seleccionar: Crear Nuevo Proyecto

Paso 2: PANEL DE INFORMACIÓN DEL PROYECTO

- Nombre proyecto: Implementación de la red PROFIBUS
- Ruta: C:\Users\Fer Fonseca\Documents\Automation
- Autor: Fer Fonseca- Michael Játiva

Paso 3: PANEL DE SELECCIÓN

- Seleccionar: Crear

Paso 4: CAMBIA A LA VISTA DEL PROYECTO

- Seleccionar: Vista del proyecto

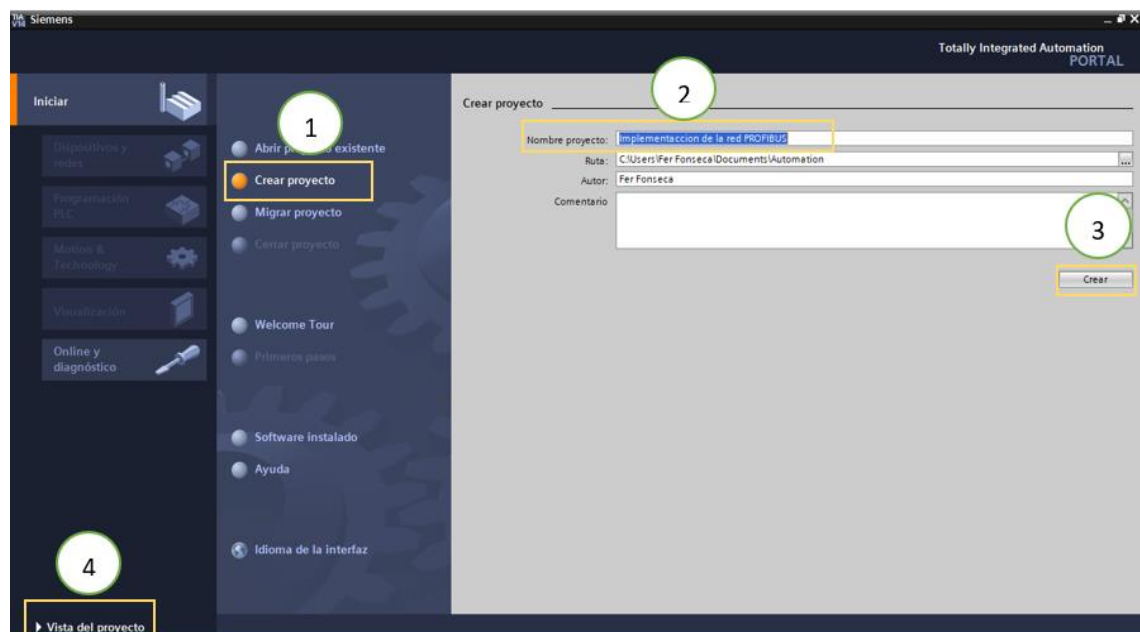


Figura 19-2: Creación del nuevo proyecto en Tia Portal V13

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Paso 5: DISPOSITIVOS Y REDES

- Seleccionar: Configurar un dispositivo

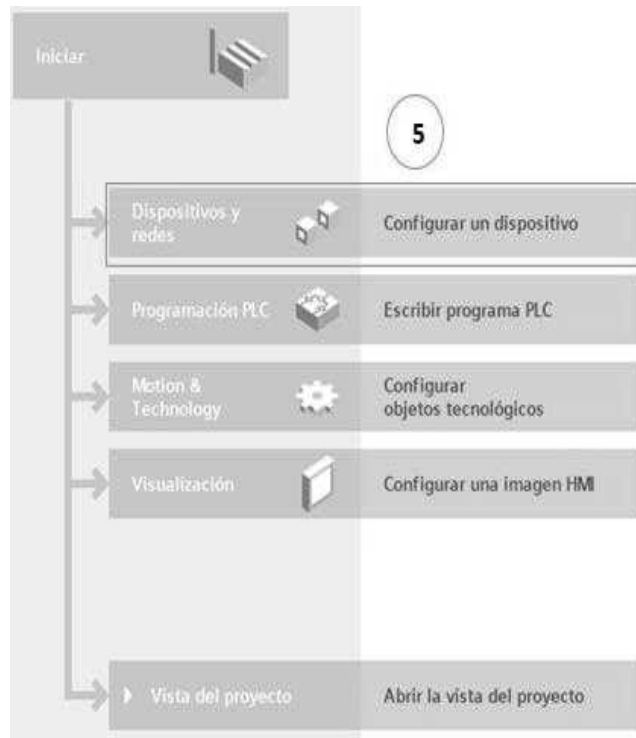


Figura 20-2: Configuración de dispositivos.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Una vez creado el proyecto se puede visualizar un menú donde se tiene varias herramientas de ayuda, con el fin de añadir y configurar los distintos dispositivos que se va a utilizar en el programa.

2.6.2. Configuración del PLC

El PLC que se utiliza es ideal para trabajar, ya que brinda la libertad de manejar un gran número de entradas y salidas que se requiere para el programa y de ser necesario la posibilidad de aumentar, se puede añadir módulos de expansión que se adapten a la necesidad del proceso, el que se ha utilizado posee 2 entradas analógicas las cuales son necesarias, pero no suficientes.

Debido a los sensores de temperatura que se utilizan para el proceso, es necesario añadir un módulo de expansión de 4 entradas analógicas, de las cuales se va hacer uso 3 de ellas que de acuerdo a la estructura del PLC se coloca a la derecha del mismo, haciendo un seguimiento de temperatura en el inicio, mitad y al final del sistema.

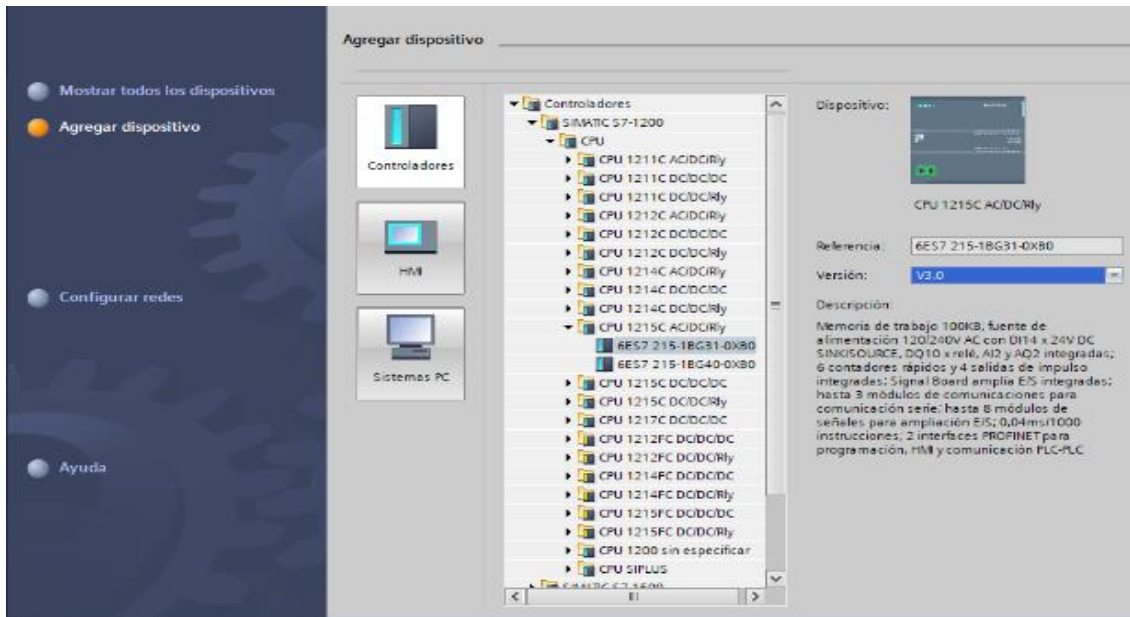


Figura 21-2: Agregar dispositivos en Tia Porta V13.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

2.6.2.1. Módulo de expansión analógico

El dispositivo de entradas analógicas a utilizar, es capaz de adquirir variables analógicas de tensión, corriente y temperatura, la lectura será de 4-20mA, cuando la señal este a 0% el transductor nos proporciona 4mA y cuando este al 100% el transductor nos proporciona 20mA, que en el programa se visualizará con valores de 0 y 27648. En la parte de catálogo de hardware se puede encontrar fácilmente el AI:

- AI 4X13Bit con su respectiva serie 6ES7 231-4HD32-0XB0.

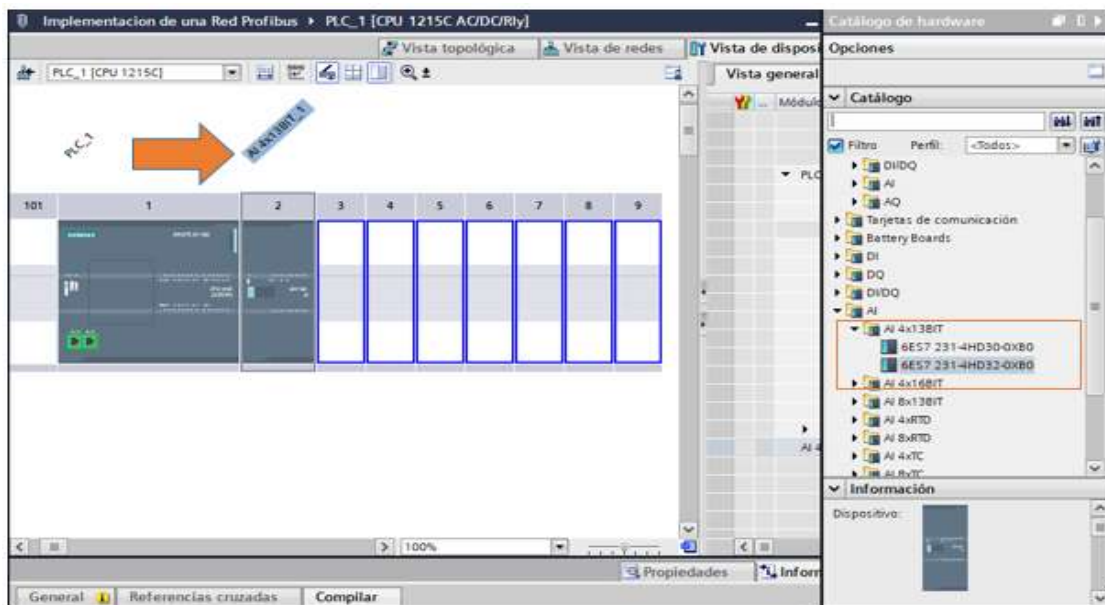


Figura 22-2: Módulo analógico.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

- Obtenido ya el módulo, se realiza la configuración interna de cada uno de los canales que se van a utilizar, pero teniendo en cuenta que se trabajara con acondicionadores de señales de 4-20 mA.

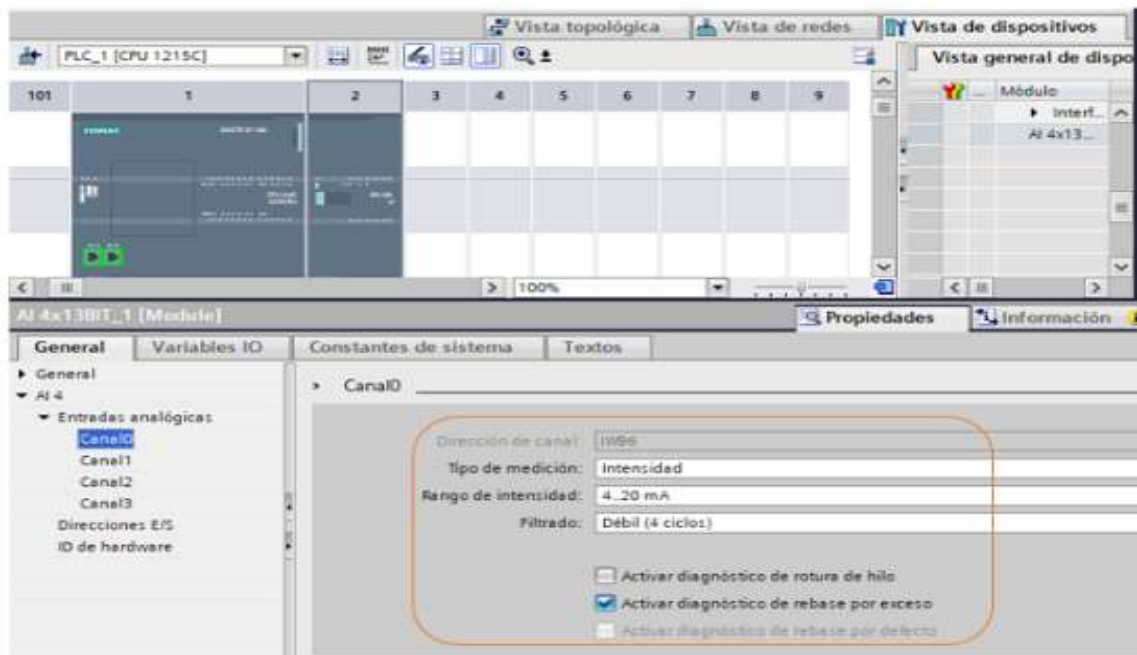


Figura 23-2: Configuración de los canales de entradas analógicas.
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

- Se direcciona cada uno de los sensores a su respectiva variable de entrada.

AI 4x13BIT_1 [Module]							
General		Variables IO		Constantes de sistema		Textos	
	Nombre	Tipo	Dirección	Tabla de variables	Comentario		
	PT100_1	Int	%IW96	Default tag table			
	PT100_2	Int	%IW98	Default tag table			
	PT100_3	Int	%IW100	Default tag table			

Figura 24-2: Direccionamiento de las entradas analógicas.
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

2.6.2.2. Módulo de comunicación Profibus

En el mismo catálogo de hardware se podrá encontrar también el módulo de comunicación PROFIBUS, siendo asignado con la dirección número 2 y de igual manera basándose en la estructura del controlador se lo coloca a la izquierda del mismo. PROFIBUS permitirá conectarnos en red con diferentes dispositivos de campo y también como sistema de bus, permitiendo automatizar cualquier tipo de proceso, y optimizándolo ya que puede alcanzar velocidades de transferencia de 9.6kbits/s a 12Mbits/s.

- *CM1243-5 con su respectiva serie 6GK7 243-5DX30-0XE0*

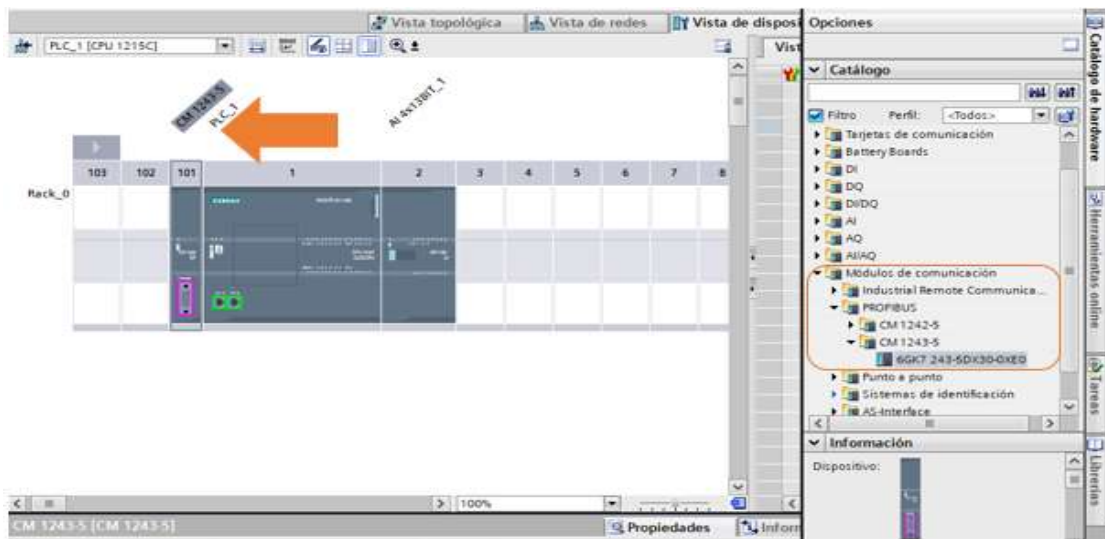


Figura 25-2: Módulo Profibus.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

2.6.2.3. Variador de frecuencia

Dentro de los dispositivos de campo que se va hacer uso, se encuentra el variador de frecuencia que proporciona el uso de velocidades necesarias para el motor y también el consumo correcto de la energía eléctrica proporcionando una larga vida útil a los equipos, al mismo tiempo actúa como esclavo dentro del sistema, este no se encuentra vigente en el software, así que se realiza una instalación de un archivo GSD que permite agregar al catálogo varios dispositivos, dentro de este se encuentra el que se necesita para poder hacer la configuración.

2.6.2.4. Instalación del archivo GSD

Paso 1: MENU Y BARRA DE HERRAMIENTAS

- Seleccionar: *Opciones*

Paso 2: SE DESPLIEGA DIFERENTES OPCIONES

- Seleccionar: *Administrar archivos de descripción de dispositivos*

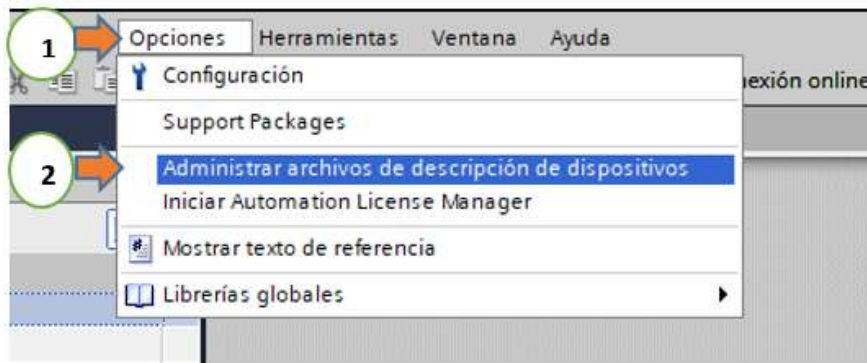


Figura 26-2: Asignación del archivo GSD.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Paso 3: NUEVA VENTANA

- Seleccionar: *Ruta de origen*

Paso 4: BUSCAR CARPETA

- Seleccionar: *GSD_312*

Paso 5: BARRA DE OPCIONES

- Seleccionar: *Instalar*

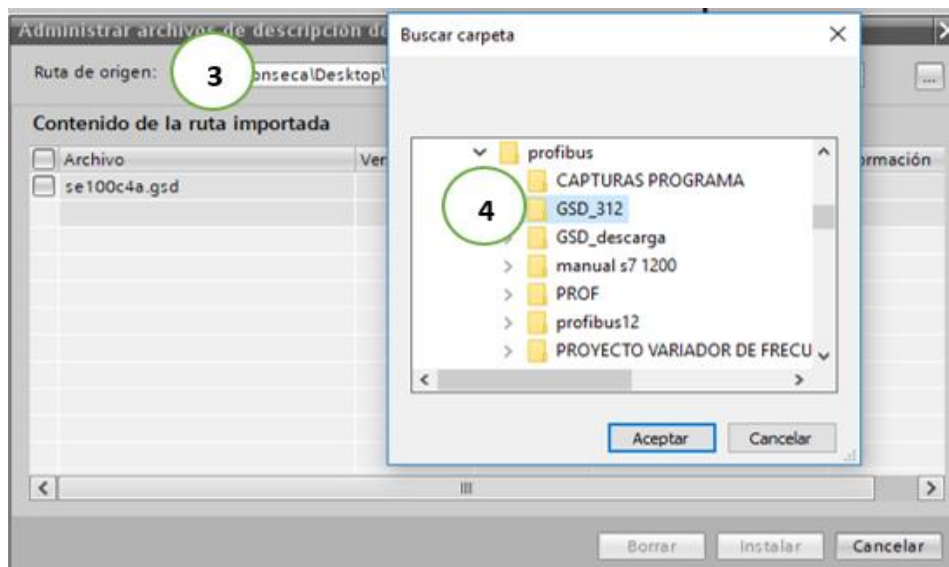


Figura 27-2: Origen del archivo GSD.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

2.6.3. Configuración dispositivos y redes

Una vez que se obtiene el variador de frecuencia se implementa a la red para que se pueda trabajar conjuntamente todos los equipos, siguiendo los siguientes pasos:

Paso 1: Catálogo de hardware

Paso 2: Otros dispositivos de campos

Paso 3: Profibus DP

Paso 4: Accionamientos

Paso 5: Schneider Electric

Paso 6: Altivar - 312

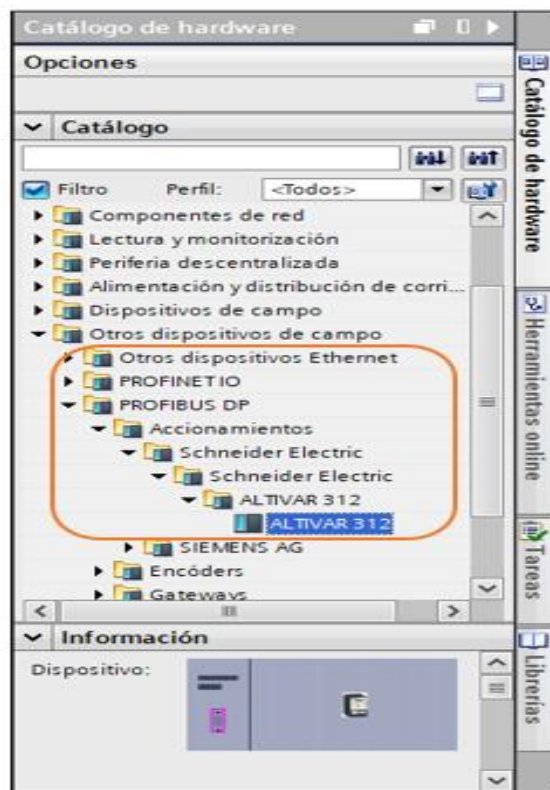


Figura 28-2: Variador de frecuencia ALTIVAR AR312.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Después se procede a conectar el módulo maestro con su respectivo esclavo por medio del cable PROFIBUS.

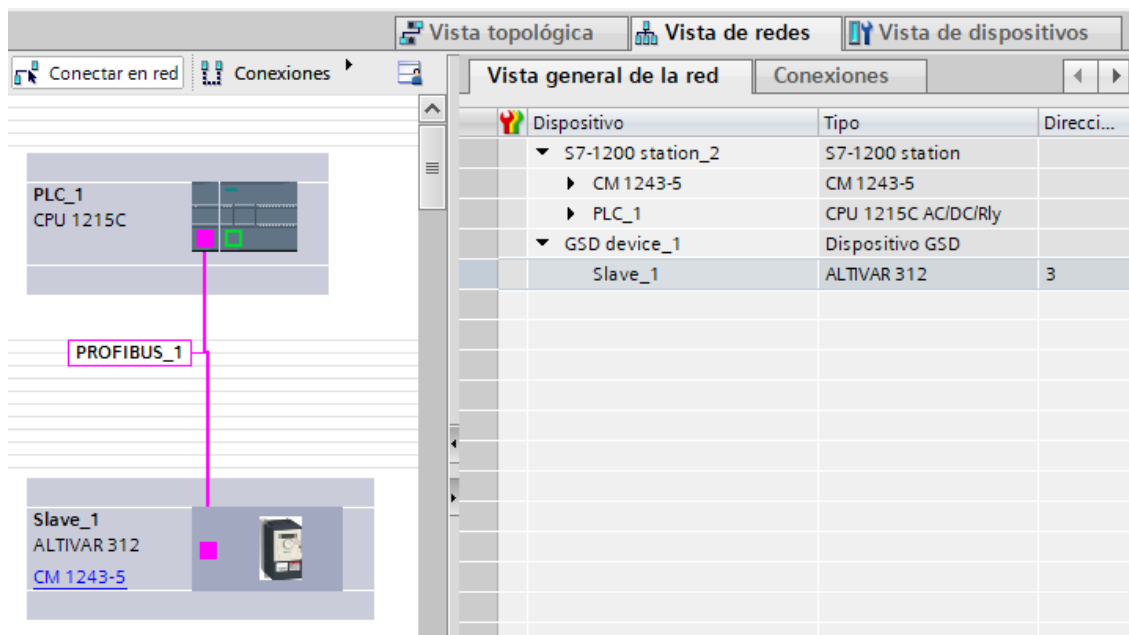


Figura 29-2: Asignación cable Profibus.
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

En la asignación de la dirección para el dispositivo de control (Slave) se escogió la numero 3 al igual que en la configuración del maestro.

Interregional de dirección	7-8-8-4-3-2-1	Interregional de dirección	7-8-8-4-3-2-1	Interregional de dirección	7-8-8-4-3-2-1	Interregional de dirección	7-8-8-4-3-2-1	Interregional de dirección	7-8-8-4-3-2-1
0	000 0000	26	D01 10 10	52	D11 0 100	78	100 1 1 10	104	1 10 1000
1	000 0001	27	D01 10 11	53	D11 0 10 1	79	100 1 1 1 1	105	1 10 1001
2	000 0010	28	D01 1100	54	D11 0 110	80	101 0000	106	1 10 1010
3	000 0011	29	D01 1101	55	D11 0 11 1	81	101 0001	107	1 10 1011
4	000 0100	30	D01 11 10	56	D11 1000	82	101 0010	108	1 10 1100
5	000 0101	31	D01 11 11	57	D11 100 1	83	101 0011	109	1 10 1101
6	000 0110	32	D10 0000	58	D11 1010	84	101 0100	110	1 10 1110
7	000 0111	33	D10 0001	59	D11 101 1	85	101 0101	111	1 10 1111
8	000 1000	34	D10 0010	60	D11 1 100	86	101 0110	112	1 11 0000
9	000 1001	35	D10 0011	61	D11 1 10 1	87	101 0111	113	1 11 0001
10	000 1010	36	D10 0100	62	D11 1 110	88	101 1000	114	1 11 0010
11	000 1011	37	D10 0101	63	D11 1 11 1	89	101 1001	115	1 11 0011
12	000 1100	38	D10 0110	64	100 0000	90	101 1010	116	1 11 0100
13	000 1101	39	D10 0111	comando y clave	100 000 1	91	101 1011	117	1 11 0101
14	000 1110	40	D10 1000	66	100 0010	92	101 1010	118	1 11 0110
15	000 1111	41	D10 1001	67	100 001 1	93	101 1101	119	1 11 0111
16	001 0000	42	D10 1010	68	100 0100	94	101 1110	120	1 11 1000
17	001 000 1	43	D10 101 1	69	100 010 1	95	101 1111	121	1 11 1001
18	001 0010	44	D10 1100	70	100 0110	96	1 10 0000	122	1 11 1010
19	001 001 1	45	D10 1101	71	100 011 1	97	1 10 0001	123	1 11 1011
20	001 0100	46	D10 11 10	72	100 1000	98	1 10 0010	124	1 11 1100
21	001 010 1	47	D10 11 1 1	73	100 100 1	99	1 10 0011	125	1 11 1101
22	001 0110	48	D11 0000	74	100 1010	100	1 10 0100	126	1 11 1110
23	001 011 1	49	D11 0001	75	100 101 1	101	1 10 0101		1 11 1111
24	001 1000	50	D11 0010	76	100 1 100	102	1 10 0110		
25	001 100 1	51	D11 001 1	77	100 1 10 1	103	1 10 0111		

Figura 30-2: Codificación de la dirección de la unidad.
 Realizado por: (Electric, 2009, p.14)

El siguiente paso, después de añadir todos los dispositivos, se procede a editar las variables de entrada, salida y también las memorias que se utilizaran para el almacenamiento de los datos en el proceso de programación y de esta manera se alcanzara mayor fiabilidad en el momento de crear la programación.

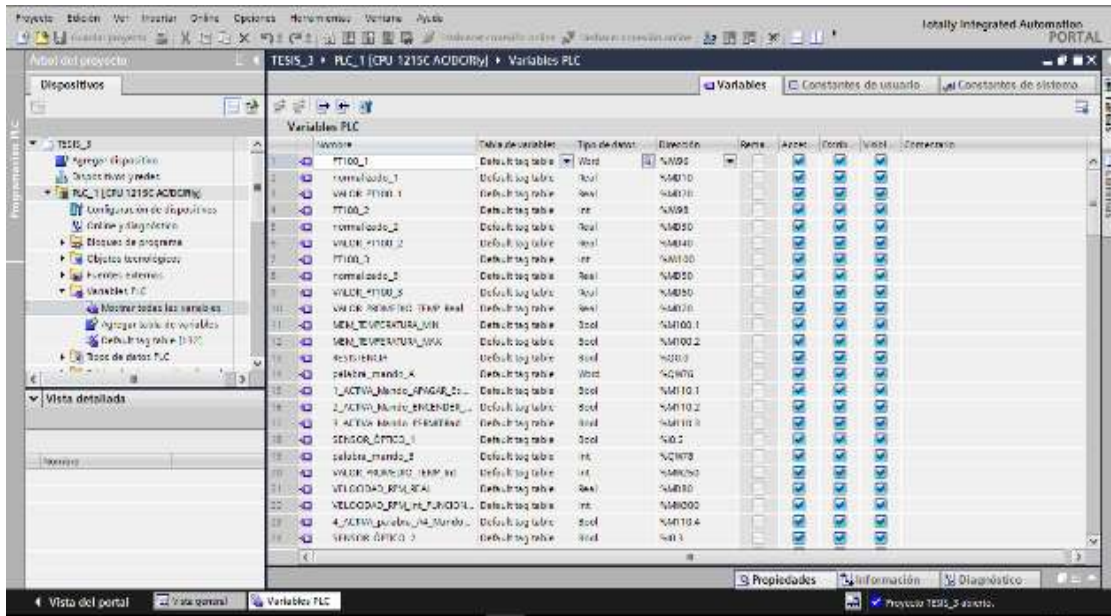


Figura 31-2: Entradas, salidas y memorias del PLC.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

Una vez declaradas las variables que se van a utilizar en el programa, se accede a los bloques del programa en donde se va a desarrollar la programación del autómatas, este se lo hizo en el “Main [OB1]” u otra alternativa es agregando bloque de funciones para cada etapa de la programación y al final solo se llama al programa principal.

2.6.4. Adquisición de datos de los acondicionadores de señal

Para manipular los datos dentro de la programación con respecto a la temperatura, se utiliza los acondicionadores de señales, los cuales trabajan en un rango de corriente de 4-20mA así, al ser procesados los datos se visualizarán en °C, mediante una transformación de cada una de las pt100, para realizar una equivalencia total creando así un solo bloque con el que será más fácil manipular dentro del programa.

Para esto se procede a normalizar y escalar los datos con la ayuda de los bloques de programas, figura 31-2, que se encuentra en instrucciones básicas en la carpeta de conversión. Como se posee tres pt100 se hace tres transformaciones.

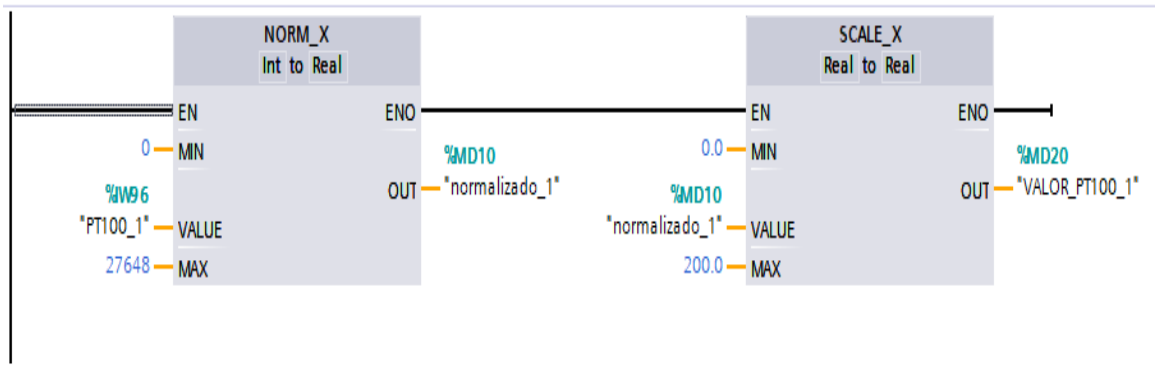


Figura 32-2: Normalización y escalamiento PT100.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Después se procede a realizar un bloque equivalente en donde contenga una sola temperatura con la que sea más fácil trabajar en la programación.

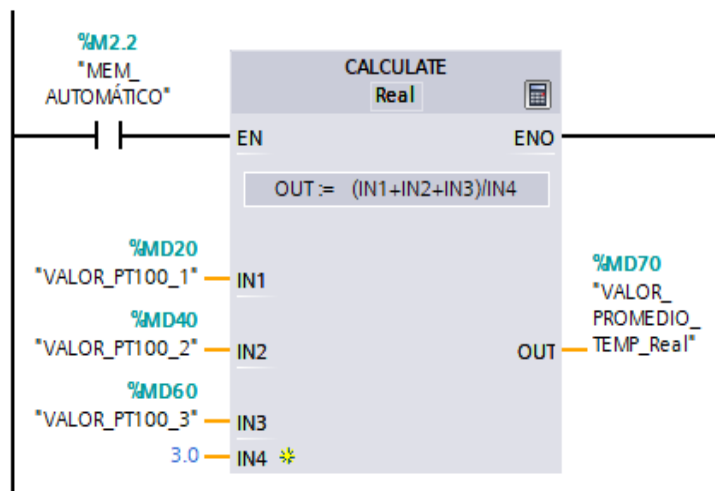


Figura 33-2: Temperatura promedio.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

2.6.5. Ecuación de la recta para el control de la temperatura y velocidad

Dentro del control se ha realizado un análisis de la temperatura obtenida por medio de los sensores Pt100, convirtiendo a este valor en una consigna de velocidad para que trabajen las dos variables en una sola dirección, es decir mientras la temperatura aumenta de igual manera la velocidad y viceversa.

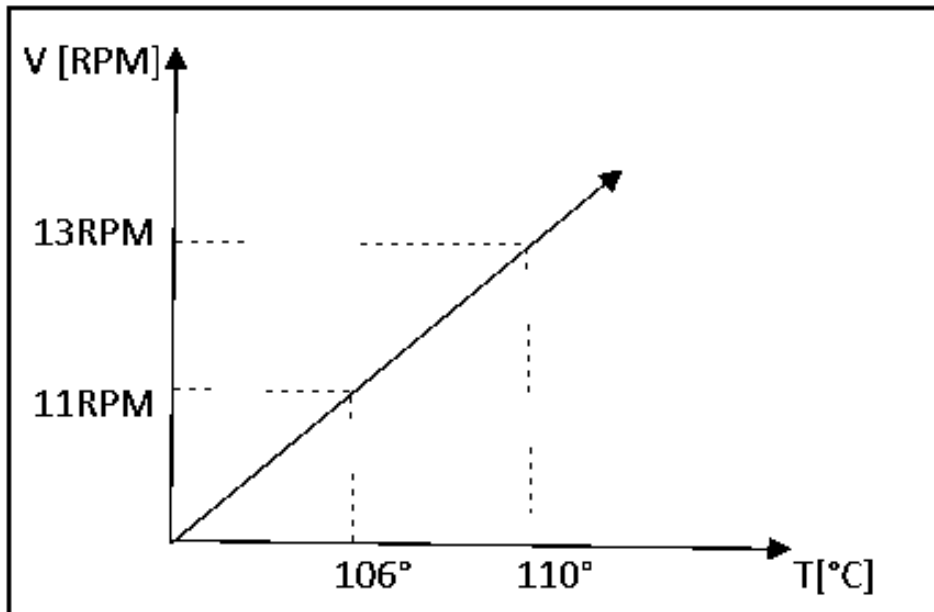


Figura 34-2: Gráfico de temperatura vs velocidad.
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Ecuación 2-2: Ecuación para calcular la pendiente de la recta.

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{13 - 11}{110 - 106}$$

$$m = \frac{1}{2}$$

Ecuación 3-2: Ecuación punto pendiente.

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

$$y - 11 = \frac{1}{2}(x - 106)$$

$$y - 11 = \frac{1}{2}x - 53$$

$$y = \frac{1}{2}x - 42$$

Una vez encontrada la ecuación para calcular la velocidad en función del tiempo, se procede a usar un bloque de cálculo, figura 35-2, que permite generar el valor de la velocidad con la que

se mueve el motor, mismo que está almacenado en una memoria MD80 enlazada al HMI como visualizador.

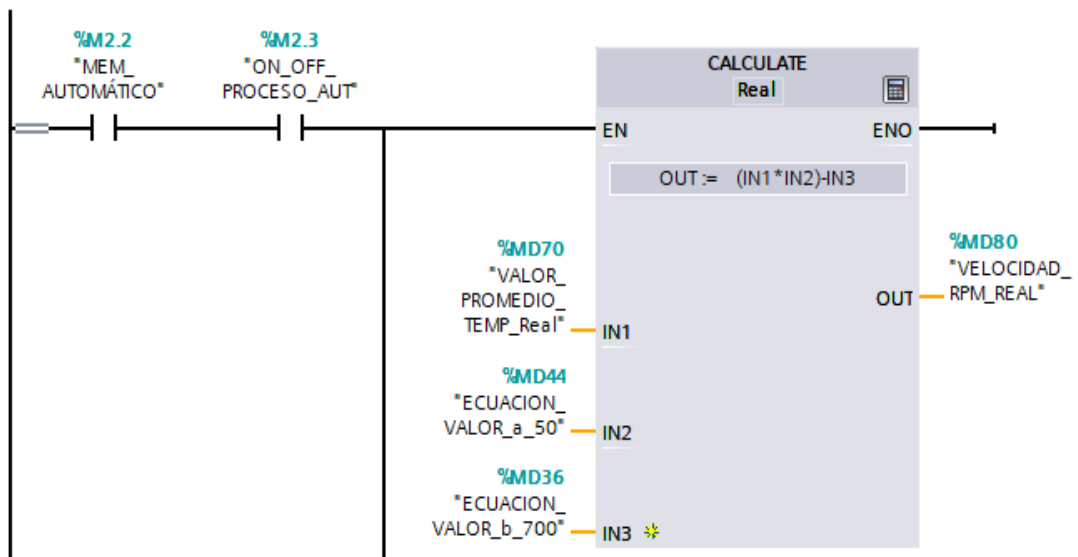


Figura 35-2: Fórmula punto pendiente.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

2.6.6. Programación de la comunicación Profibus

2.6.6.1. Algoritmo de comunicación

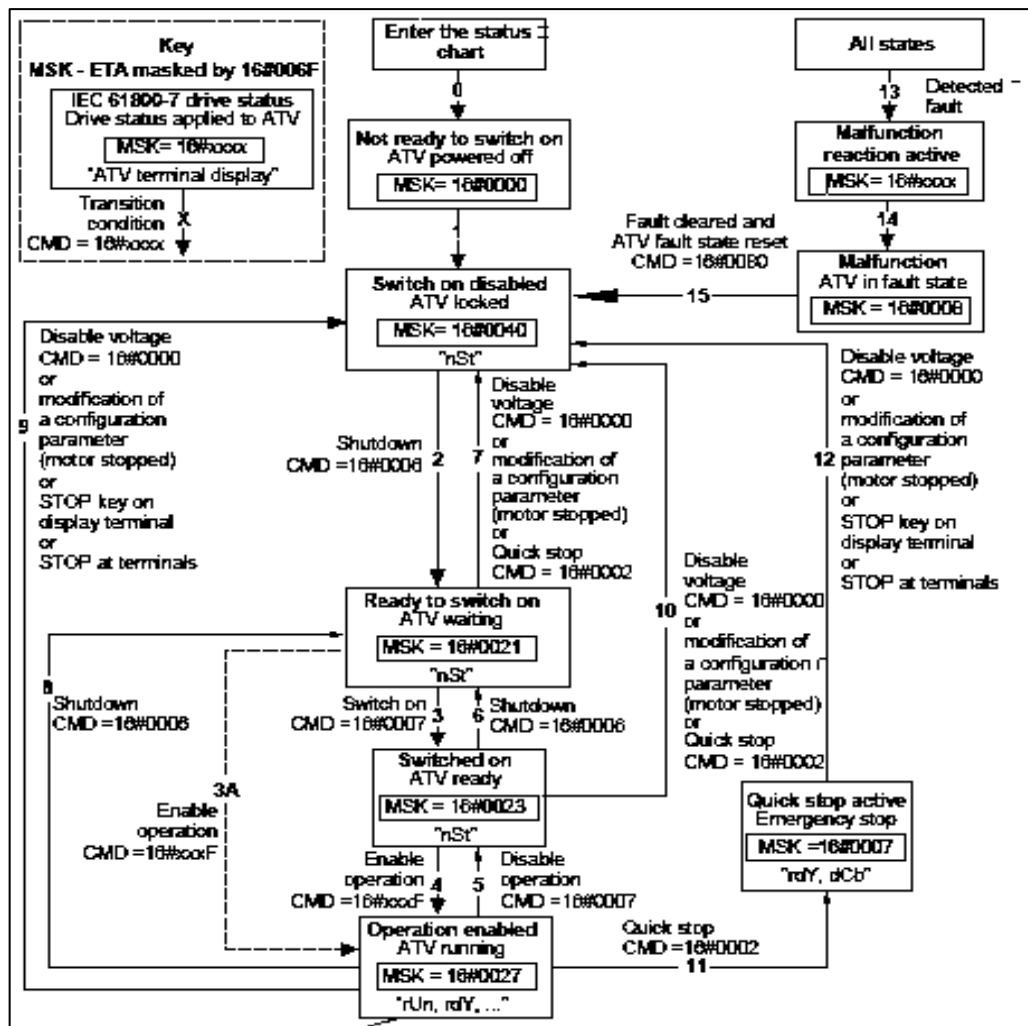


Figura 36-2: Algoritmo de comunicación.
Realizado por: (Electric, 2014, p.33)

Una vez que se ha realizado la investigación de los tipos de comunicación y en base a las necesidades del sistema se ha decidido implementar PROFIBUS DP, como ya se ha puesto en redes todos los dispositivos con sus respectivas direcciones y ya con esta configuración se pretende controlar al motor vía PROFIBUS.

2.6.6.2. Palabras de estado

Se tiene en la parte del variador las direcciones específicas con las que se trabajará tanto de entradas como de salida, las direcciones que se mostraran son de tipo PKW Y PZD en donde se podrá leer y escribir parámetros del variador y leer la palabra de estado, las palabras de mando de control son una serie de booleanas y devolverá una palabra en booleanas para ver el estado del variador. Se enfocará principalmente en las direcciones PZD ya que se quiere manipular palabras de mando y valores de consigna de velocidad.

Vista general de dispositivos						
Slot	Dirección I	Dirección Q	Tipo	Referencia	Firmware	...
0			ALTIVAR 312		Version 1.07	
1	68...75	68...75	ALTIVAR 312			
2	76...79	76...79	ALTIVAR 312			

Figura 37-2: Direcciones de almacenamiento CMD y consigna de velocidad.
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Examples: ETA = 16#0627 : Normal stop or : 1 Forward operation, speed reached ETA = 16#8627 : Reverse operation, speed reached ETA = 16#0227 : Forward operation, ACC or DEC ETA = 16#8227 : Reverse operation, ACC or DEC	Examples (default configuration): CMD = 16#000F : Forward operation CMD = 16#080F : Reverse operation CMD = 16#100F : Stop (configured by "Stt") CMD = 16#200F : DC injection stop CMD = 16#400F : Fast stop
--	--

Figura 38-2: Palabras de estado.
 Realizado por: (Electric, 2014, p.33)

Una vez que se ha definido las direcciones se pretende escribir la palabra de mando, para esto se utilizará un bloque MOVE en el cual ingresaremos la palabra en hexadecimal para después almacenarla en un PZD1 en donde está contenido el CMD de igual manera al finalizar la secuencia del algoritmo y se habilite el giro se ingresa también la consigna de velocidad que se encuentra en el PZD2 la cual contiene a LFRD.

Se toma a los valores PZD como el área de datos del proceso, información de estado y valores reales. En el CMD se pretende visualizar el intercambio de datos como la palabra de control, la misma que determina como debe comportarse el variador en tiempo real y la consigna de velocidad, en esta palabra se indica en entero el valor de frecuencia a la que se desea que trabaje o marche el variador.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PKW								PZD1		PZD2	
PKE		0	R/W	PWE				CMD		LFRD	

Figura 39-2: Comandos de almacenamiento.
 Realizado por: (Electric, 2014, p.21)

2.6.6.3. Transmisión de Datos vía Profibus

La lectura de las palabras de estado, representan la transmisión de datos en Profibus, es decir, según la trama que se envía, existe una respuesta dentro del proceso a realizarse. En el caso del

presente trabajo que se está desarrollando, actúan cuatro palabras de estado, mismas que pertenecen a una trama de 16 bits.

Estas tramas son leídas por el PLC y almacenadas en una dirección correspondiente al CMD en donde el dato es procesado y enviado al variador de frecuencia, el cual ejecuta de manera cíclica cada una de las peticiones correspondientes a las palabras de estado, este proceso se da mediante el envío de datos a través del cable profibus, a una velocidad de 1.5Mbits/s

Las tramas enviadas al variador se almacenan en una memoria correspondiente al CMD, la cual representa al comando de control del variador, dentro de la programación general en Tia Portal. A continuación, se presentará de manera más detallada las palabras de estado:

Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Malfunction	Operation enabled	Switched on	Ready to switch on
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4
Alarm	Switch on disabled	Quick stop active at 0	0
Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Reference exceeded	Reference reached	Forced local mode (active at 0)	0
Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12
Direction of rotation	Stop via STOP key	0	0

Figura 40-2: Palabra de estado 16#0006

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

La primera trama corresponde a la transición de estado de apagado – listo para encender, la cual significa que el proceso que va a realizar puede empezar a funcionar, esperando las demás órdenes.

Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Malfunction	Operation enabled	Switched on	Ready to switch on
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4
Alarm	Switch on disabled	Quick stop active at 0	0
Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Reference exceeded	Reference reached	Forced local mode (active at 0)	0
Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12
Direction of rotation	Stop via STOP key	0	0

Figura 41-2: Palabra de estado 16#0007

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

La segunda trama corresponde al estado “encendido”, es decir, el proceso se encuentra en óptimas condiciones, y puede empezar a cumplir funciones dentro del proceso.

Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Malfunction	Operation enabled	Switched on	Ready to switch on
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4
Alarm	Switch on disabled	Quick stop active at 0	0
Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
Reference exceeded	Reference reached	Forced local mode (active at 0)	0
Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12
Direction of rotation	Stop via STOP key	0	0

Figura 42-2: Palabra de estado 16#000F

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

La tercera trama corresponde a la función “giro hacia adelante”, la lectura de esta palabra de estado dentro del proceso, es primordial para el funcionamiento del motor.

Bit 3 Malfunction	Bit 2 Operation enabled	Bit 1 Switched on	Bit 0 Ready to switch on
Bit 7 Alarm	Bit 6 Switch on disabled	Bit 5 Quick stop active at 0	Bit 4 0
Bit 11 Reference exceeded	Bit 10 Reference reached	Bit 9 Forced local mode (active at 0)	Bit 8 0
Bit 15 Direction of rotation	Bit 14 Stop via STOP key	Bit 13 0	Bit 12 0

Figura 43-2: Palabra de estado 16#100F

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

La tercera trama corresponde a la función “paro”, esta palabra de estado se encarga de enviar la orden al proceso para que procesa a detenerse.

2.7. Diseño e implementación de la interfaz gráfica HMI

Finalmente, para completar la Red se procede a la inserción de la pantalla HMI, con la finalidad de manipular y visualizar los datos y gráficas de la temperatura en las distintas zonas y de igual manera en la visualización de los cambios de estado en la comunicación Profibus por medio de un ambiente de trabajo amplio y didáctico para el usuario.

Pasos a seguir:

Paso 1: ÁRBOL DEL PROYECTO

- Seleccionar: Agregar dispositivo

Paso 2: PANEL DE SELECCIÓN

- Seleccionar: HMI
- Nombre del dispositivo: HMI_1

Paso 3: HMI

- Seleccionar
 - SIMATIC Basic Panel
 - 7” Display
 - KTP 700 Basic

- 6AV2 123-2GB03-0AX0

Paso 4: BARRA DE OPCIONES

- Seleccionar: Aceptar

Se visualiza, asistencia del panel de operador en donde se puede configurar los parámetros que debe tener la pantalla y su forma de comunicarse con el PLC.

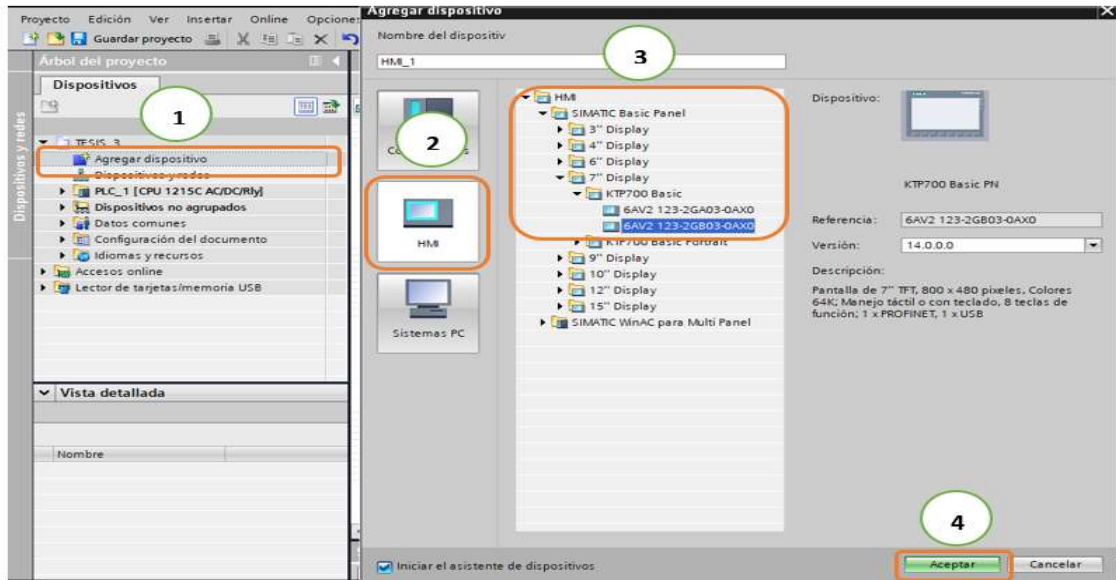


Figura 44-2: Pantalla HMI.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Paso 5: CONEXIONES DE PLC

- Examinar: PLC_1
 - Driver de Comunicación: SIMATIC S7 1200
 - Interfaz: PROFINET(X1)
- Seleccionar: Siguiente Consecutivamente

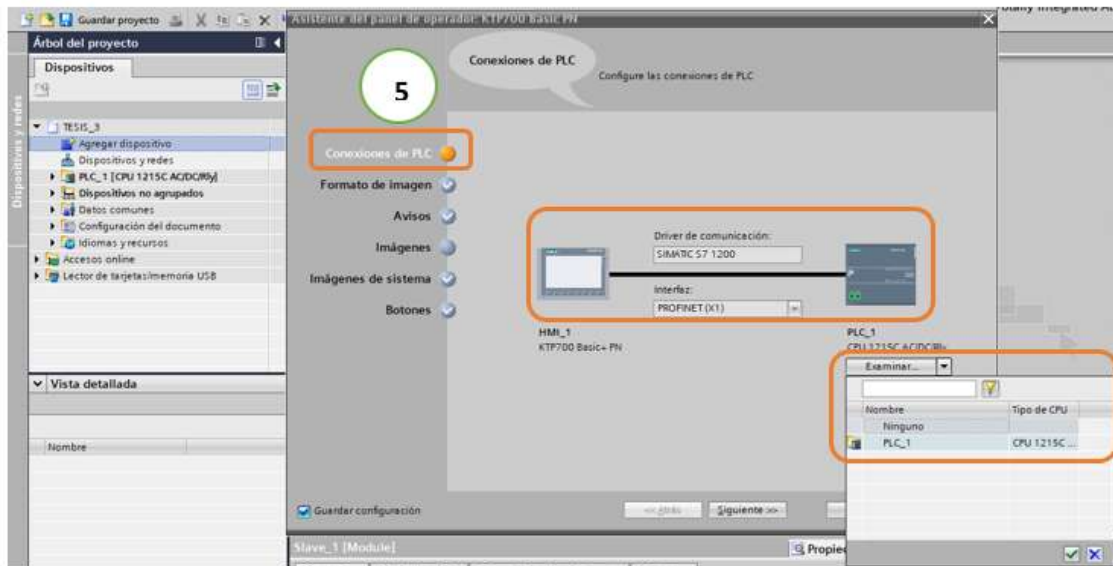


Figura 45-2: Conexión entre el PLC y HMI.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Paso 6: ASISTENTE DEL PANEL DE OPERADOR

- Seleccionar: Finalizar



Figura 46-2: Configuración del HMI.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

2.7.1. Pantallas de la HMI

La configuración de la HMI tiene el objetivo de presentar una interfaz que sea amigable con el usuario, de manera que sea fácil manipular todos los actuadores del proceso según la necesidad del operario, permitiendo de esta manera realizar cambios que sean necesarios en el sistema. A continuación, se muestra la interfaz que se presenta según la configuración.

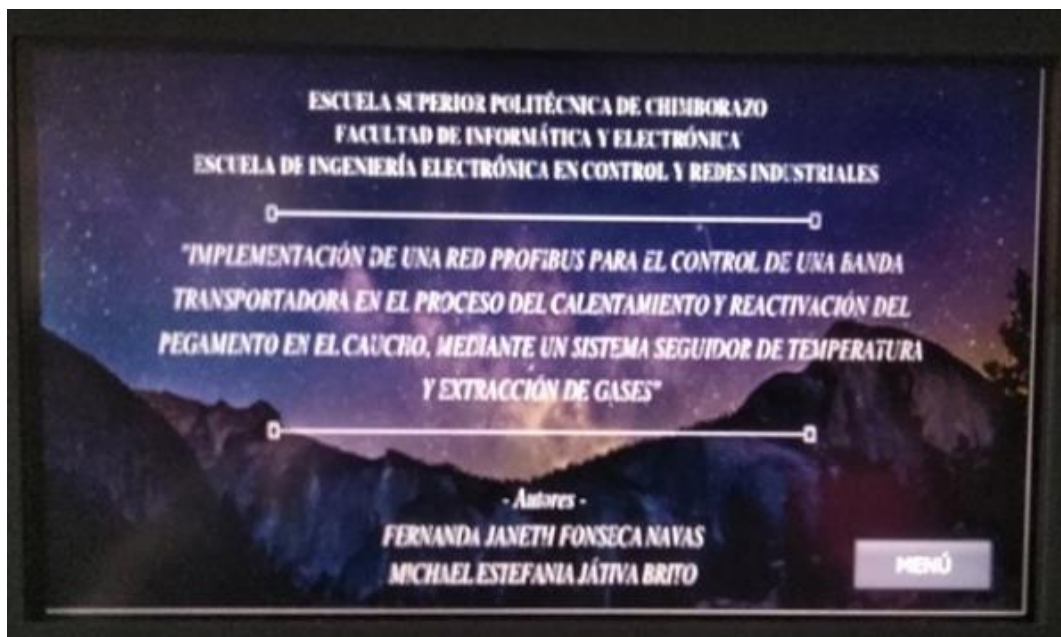


Figura 47-2: Pantalla de inicio del HMI.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018



Figura 48-2: Menú principal HMI.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018



Figura 49-2: Mando Manual
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018



Figura 50-2: Mando Automático
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

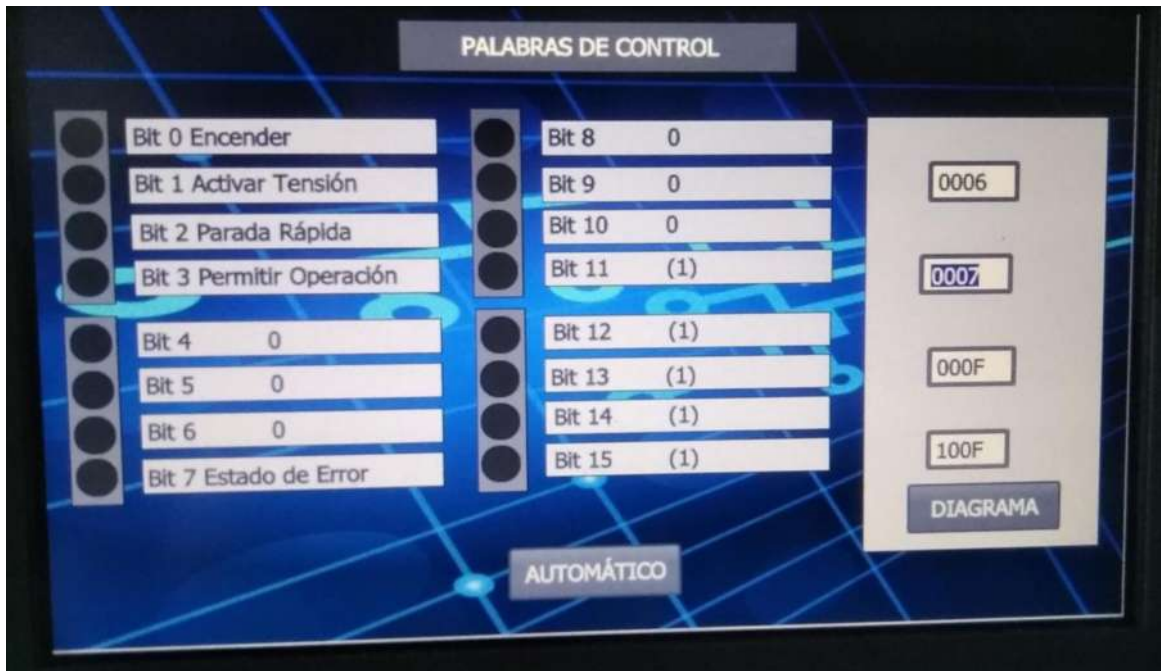


Figura 51-2: Palabras de Control
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

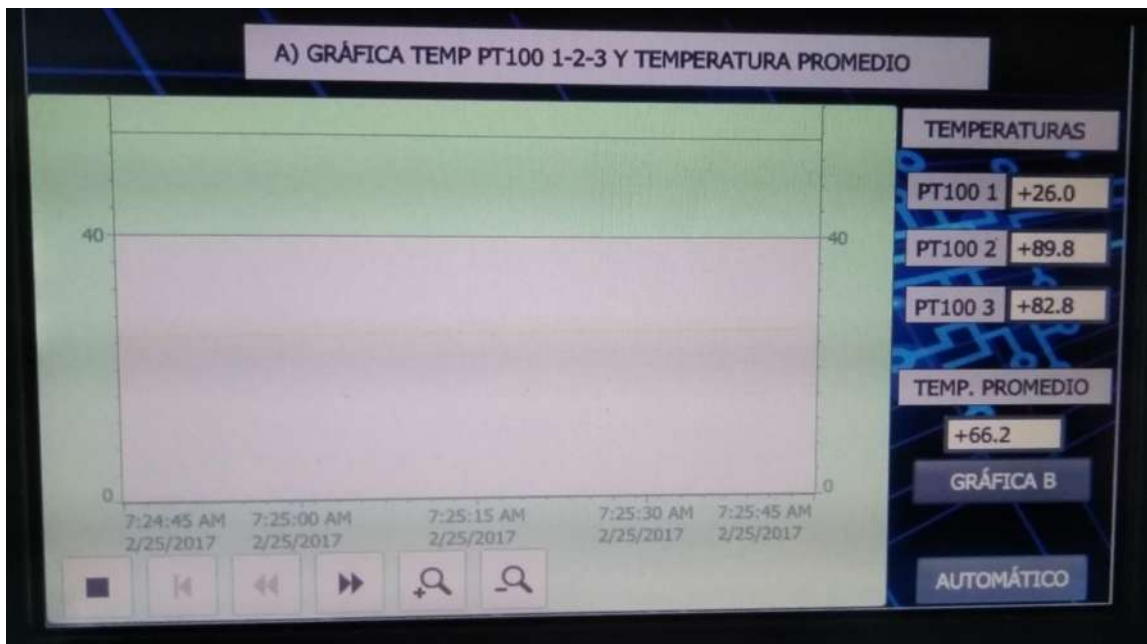


Figura 52-2: Gráfica de temperatura en función del tiempo
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

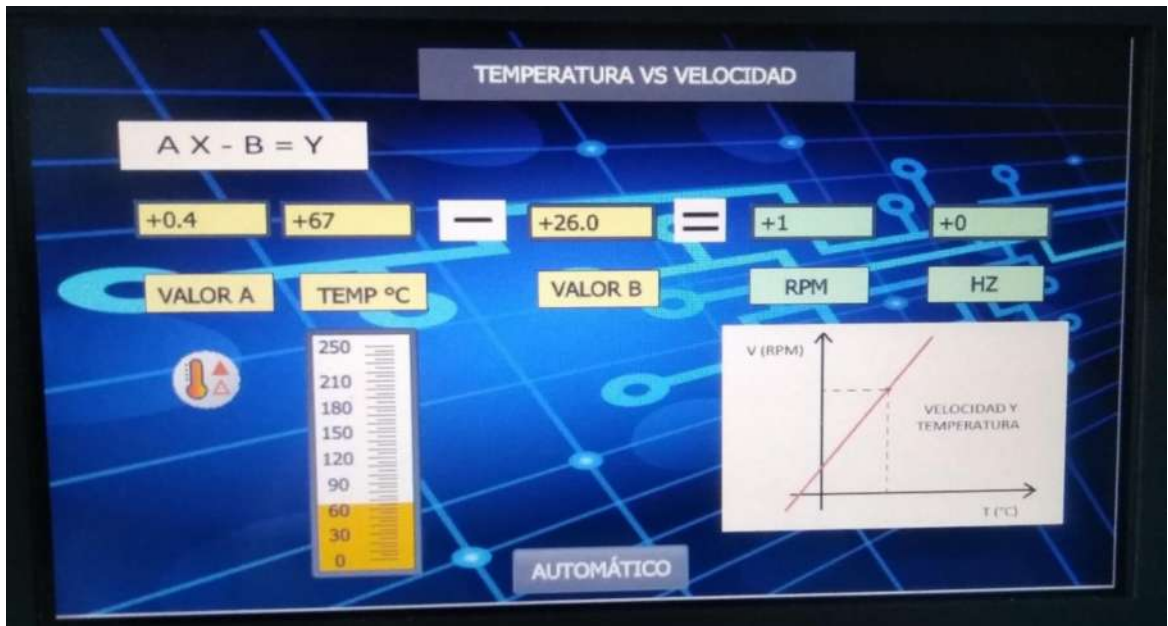


Figura 53-2: Funcionamiento de la temperatura vs velocidad
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

2.8. Esquema Final del Proceso

Luego de realizar el análisis del esquema inicial, se presenta una descripción final, figura 50-2, de la “IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED PROFIBUS PARA EL CONTROL DE UNA BANDA TRANSPORTADORA EN EL PROCESO DEL CALENTAMIENTO Y REACTIVACIÓN DEL PEGAMENTO EN EL CAUCHO, MEDIANTE UN SISTEMA SEGUIDOR DE TEMPERATURA Y EXTRACCIÓN DE GASES”, con la finalidad de presentar de manera más clara el proceso a realizarse.

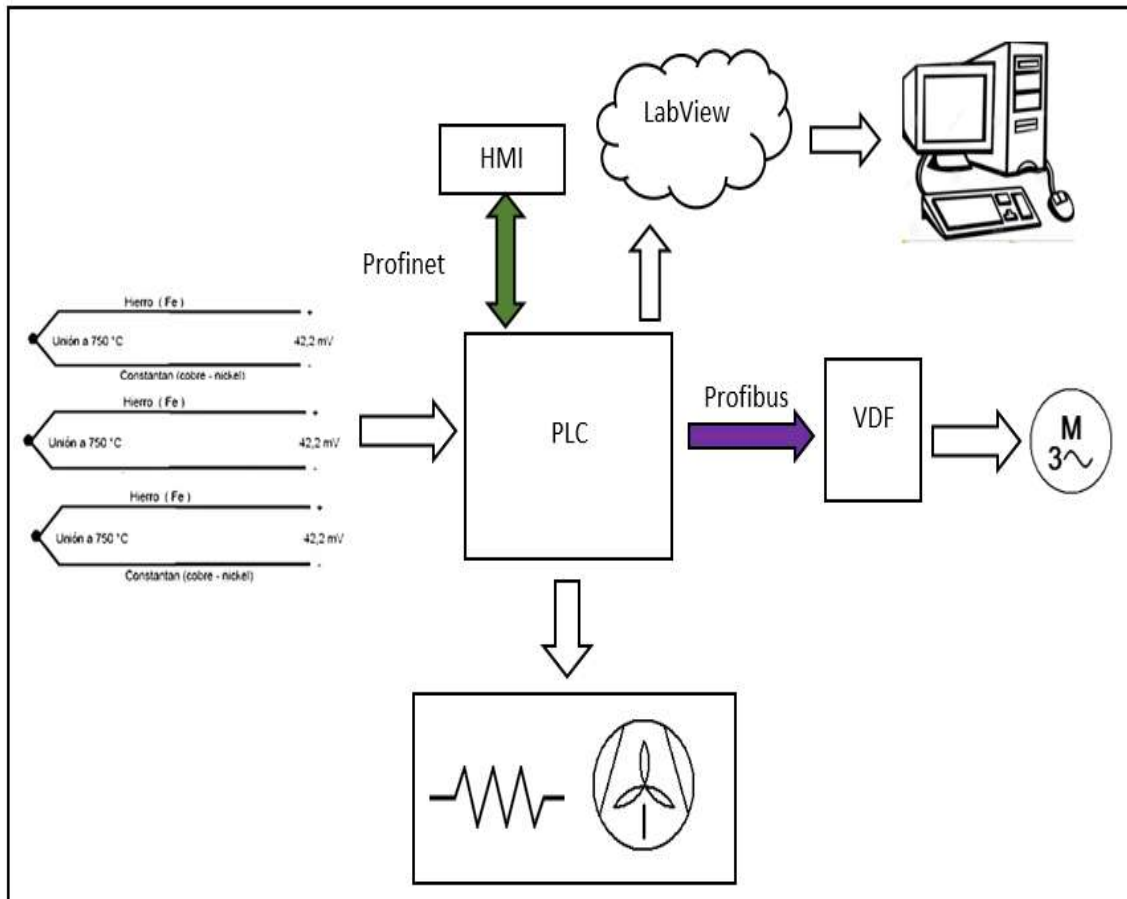


Figura 54-2: Esquema Final

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Las pt-100, luego de ser acondicionadas, se encargan de medir los valores de la temperatura, hasta llegar al valor de funcionamiento que corresponde a la temperatura promedio, dicho valor se toma como referencia para la velocidad del motor de la banda transportadora. El PLC se encarga de enviar las palabras de estado por medio de la comunicación profibus al variador de frecuencia, y de igual manera el valor de consigna de velocidad, poniendo en funcionamiento el motor, es así que se pone en marcha el proceso calentamiento y reactivación de la pega en el caucho, así como también la extracción de gases durante la ejecución del proceso.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

3.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del sistema de la red Profibus para el control de una banda transportadora en el proceso del calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho, mediante un sistema seguidor de temperatura y extracción de gases.

Una vez configurado el sistema de comunicación, y basándose en el montaje de la red y el proceso que se realizó, los resultados se detallan a continuación.

3.2 Validación de la configuración del sistema

Posterior al montaje de la red Profibus, se procedió a la comprobación de la configuración de los distintos dispositivos necesarios para verificar que la configuración se encuentra en óptimas condiciones para dar paso al funcionamiento del sistema, por esta razón se verificó la conexión de los equipos con la ayuda del software de programación. La validación de la configuración fue necesaria ya que, son dos protocolos de conexión que se han usado en el sistema, estos fueron Profibus y Profinet.

En lo que se refiere a Profinet, para determinar que la configuración no haya generado ningún error, previamente se procedió al cambio de direcciones IP en la HMI, PLC y al computador, dado que estos dispositivos debían permanecer en una misma subred para que pueda existir una correcta comunicación, tal y como se ve en la figura 1-3.

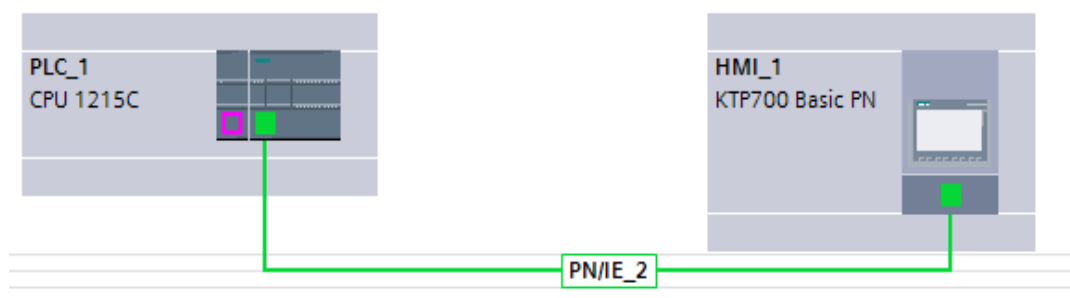


Figura 1-3: Vista de redes. Subred Profinet. Tia Portal.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

Referente a Profibus, se comprobó la conexión entre el módulo maestro y el variador de frecuencia, para esto fue necesario que las direcciones de ambos dispositivos estén dentro de un rango capaz de lograr el funcionamiento de la red. Dando una respuesta favorable entre los dispositivos para establecer la comunicación, como se muestra en la figura 2-3.

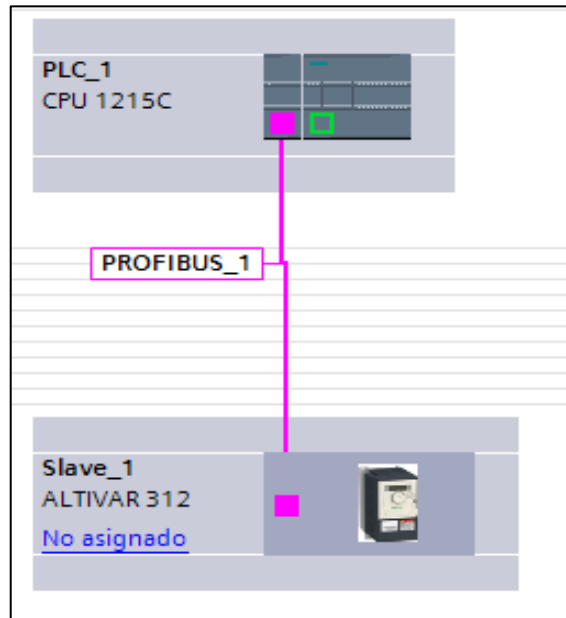


Figura 2-3: Vista de redes. Subred Profibus. Tia Portal.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Una vez comprobada la conexión entre los dispositivos, con las diferentes subredes, se procedió a la comprobación de toda la red, es decir la configuración general del sistema, tal y como se muestra en la figura 3.3.

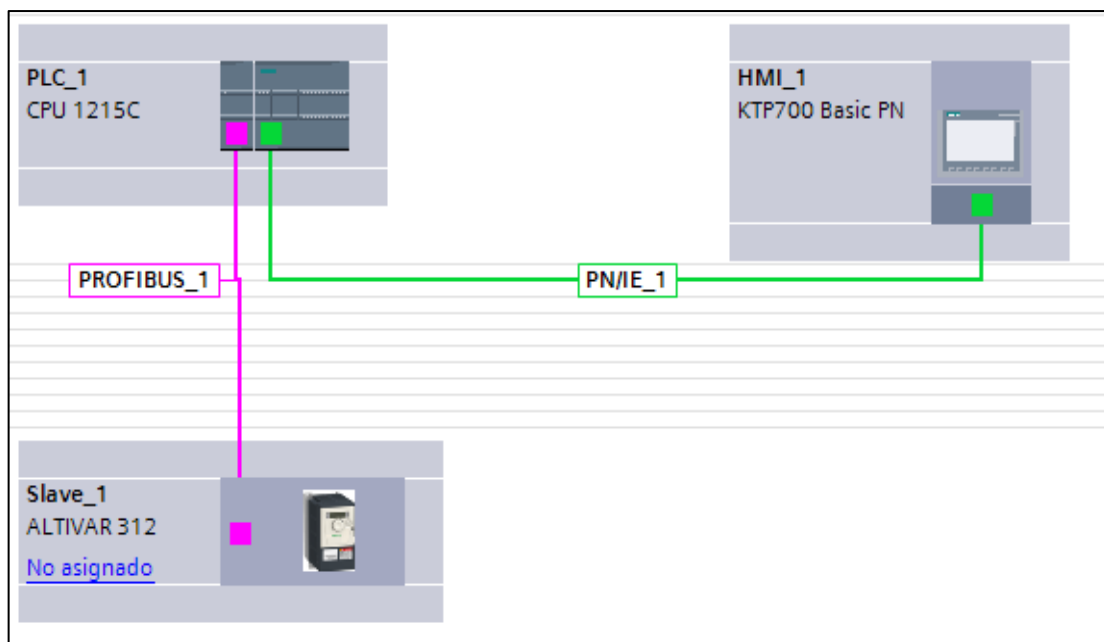


Figura 3-3: Vista de redes. Tia Portal.
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

3.3 Visualización de las palabras de estado de la comunicación Profibus

El sistema que se desarrolló es un proyecto técnico didáctico, con el que se busca demostrar el funcionamiento de Profibus, es por eso que se implementó la visualización de la comunicación de la red, referente a las palabras de estado, dentro de la HMI. Por este motivo se realizó pruebas variando el tiempo de retardo de la comunicación dentro de la programación, con el fin de hallar el tiempo idóneo para poder monitorear las palabras de estado propias de la red y visualizarlas en la interfaz gráfica.

En las pruebas realizadas con un tiempo de retardo de cuatro segundos, se pudo verificar que todas las palabras de estado de la comunicación Profibus eran visualizadas de forma correcta a través del encendido de los leds en la pantalla de la HMI, como se muestra a continuación:

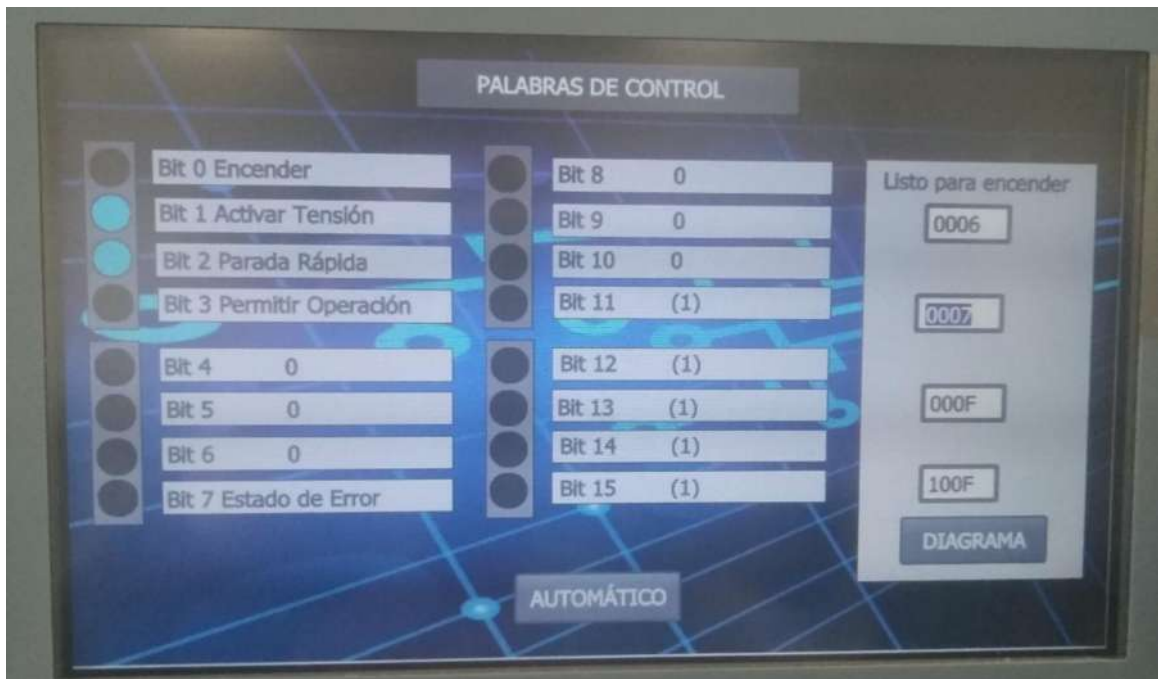


Figura 4-3: Visualización de la primera palabra "LISTO PARA ENCENDER"
Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018



Figura 5-3: Visualización de la segunda palabra de estado “ENCENDIDO”.
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018



Figura 6-3: Visualización de la tercera palabra de estado “HABILITADO”.
 Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

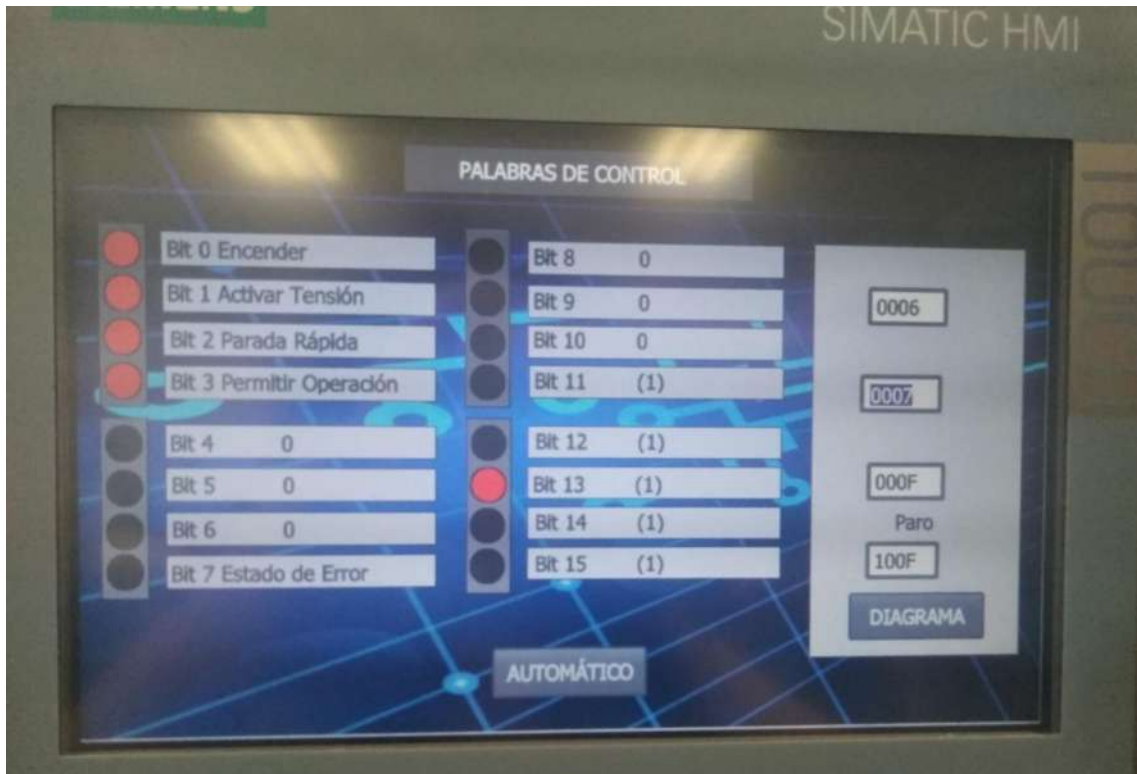


Figura 7-2: Visualización de la cuarta palabra de estado “PARO”.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

3.4 Adquisición y comportamiento de datos

Para entender el comportamiento inicial y final del proceso del calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho, se procedió a la toma de datos de las variables del sistema, las cuales fueron:

- Temperatura
- Velocidad

3.4.1 Extracción de datos por LabVIEW

Los datos de las variables del proceso, fueron extraídos por OPC mediante el software LabVIEW, el cual en base a la configuración de la figura 8-3, se encargó de almacenar los datos requeridos para los análisis y resultados.

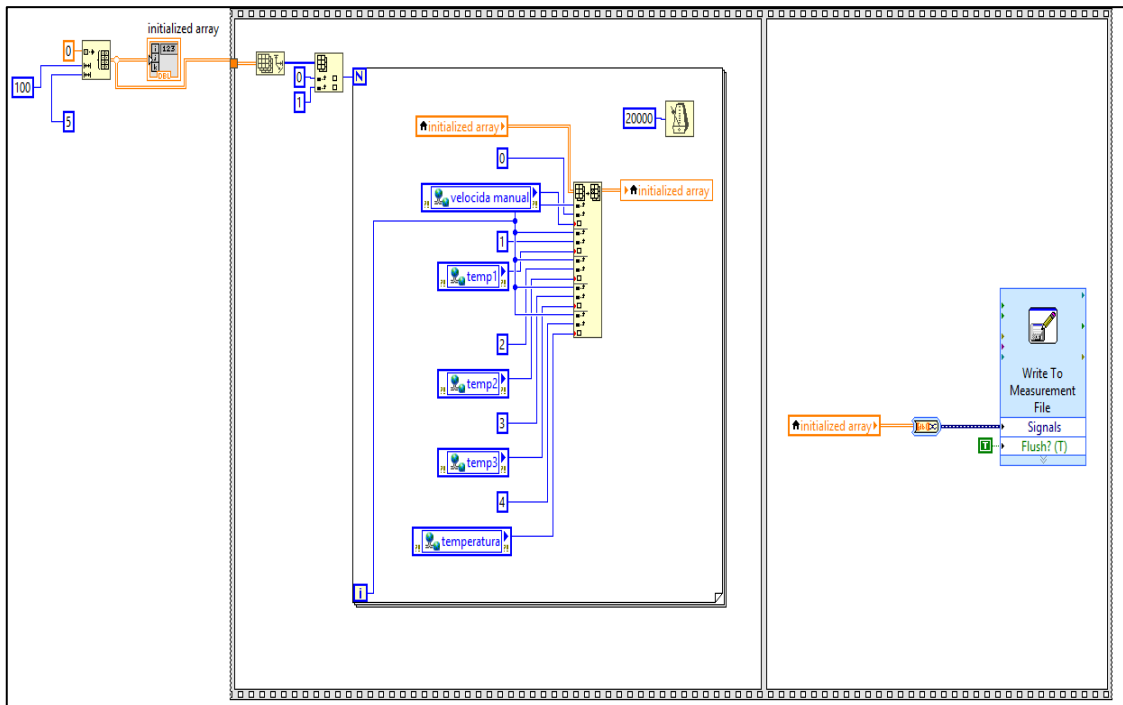


Figura 8-3: Configuración del OPC en LabVIEW

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

3.4.2 Análisis de la Variable Temperatura

Para el análisis de la variable de la temperatura se consideró el comportamiento de las tres zonas dentro del proceso realizado, es decir, cada pt-100 tuvo sus variaciones correspondientes a la lectura del valor de esta variable.

- Para el primer caso, correspondiente a la zona 1, se obtuvo los datos desde que el proceso se encontraba apagado hasta que inició el funcionamiento del mismo, habiendo obtenido los valores indicados en la tabla 1-3:

Tabla 1-3: Datos del comportamiento de la zona 1

ZONA 1	
Tiempo	Temperatura (°C)
0 s	0
5 s	21,1082
10 s	21,7231
15 s	24,7034
20 s	29,673
25 s	35,3516
30 s	41,5943
35 s	48,235
40 s	53,7688
45 s	58,4346
50 s	64,2506

55 s	65,2311
1 min	65,5451
1 min 5 s	67,8707
1 min 10 s	69,2595
1 min 15 s	70,5833
1 min 20 s	75,9504
1 min 25 s	78,4025
1 min 30 s	81,0728
1 min 35 s	84,1348
1 min 40 s	85,0053
1 min 45 s	85,0987
1 min 50 s	86,1131
1 min 55 s	87,3718
2 min	87,0068
2 min 5 s	88,2232
2 min 10 s	89,1065
2 min 15 s	90,0034

Fuente: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Como se puede ver en la tabla 1-3, se presentan los valores de la temperatura, con las variaciones respectivas y sus tiempos de funcionamiento. El valor de la temperatura que se tomó para llegar a la temperatura de funcionamiento (temperatura promedio), se encontró medido en el tiempo correspondiente a 1 min 40 s, con un valor de 85,0053°C, este valor se le consideró como el valor de funcionamiento correspondiente a la zona1.

A continuación, se muestra la gráfica 1-3, donde se puede ver de manera más detallada el funcionamiento de esta zona.

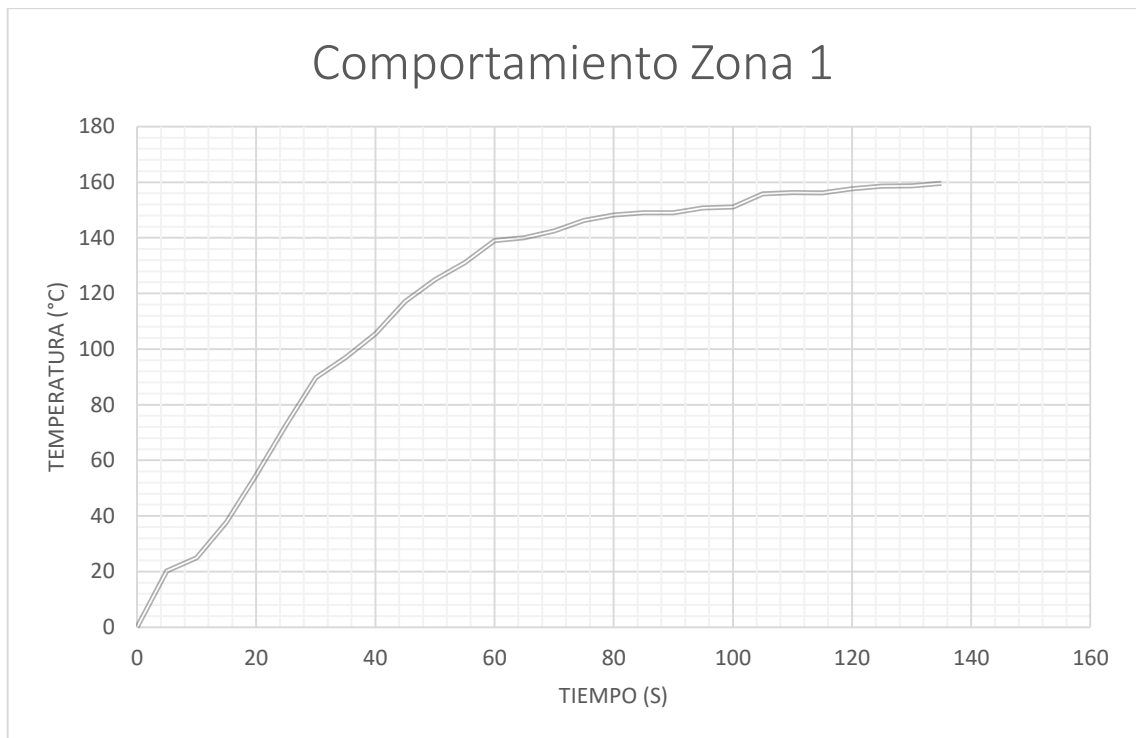


Gráfico 1-3: Comportamiento de la temperatura en la zona 1.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

El gráfico 1-3, se muestra como se comportó la temperatura en tiempo real, evidenciando que, a partir del valor de 85,0053°C, se mantuvo un intervalo constante durante el funcionamiento del sistema, hasta alcanzar los 90,0034°C, que corresponde al valor máximo de esta zona que puede alcanzar por la configuración de la histéresis.

- Para el segundo caso, correspondiente a la zona 2, se obtuvo los datos desde que el proceso se encontraba apagado hasta que inició el funcionamiento del mismo, habiendo obtenido los valores indicados en la tabla 2-3:

Tabla 2-3: Datos del comportamiento de la zona 2

ZONA 2	
Tiempo	Temperatura (°C)
0	0
5 s	20,1895
10 s	24,8915
15 s	37,7749
20 s	54,6224
25 s	72,6128
30 s	89,7931
35 s	97,0505
40 s	105,526
45 s	117,203

50 s	124,998
55 s	131,048
1 min	139,038
1 min 5 s	139,998
1 min 10 s	142,431
1 min 15 s	146,272
1 min 20 s	148,225
1 min 25 s	148,974
1 min 30 s	149,001
1 min 35 s	150,779
1 min 40 s	151,094
1 min 45 s	155,851
1 min 50 s	156,272
1 min 55 s	156,164
2 min	157,648
2 min 5 s	158,562
2 min 10 s	158,756
2 min 15 s	159,665

Fuente: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

La tabla 2-3 indica los valores de temperatura de la zona 2, los cuales se muestran con sus respectivas variaciones y tiempos de funcionamiento. El valor de la temperatura que se tomó para llegar a la temperatura de funcionamiento, se encontró medido en el tiempo de 1 min 40 s, con un valor de 151,094°C, este valor se lo consideró como el valor de funcionamiento correspondiente a la zona 2.

A continuación, se muestra la gráfica 2-3, donde se puede ver de manera más detallada el funcionamiento de esta zona.

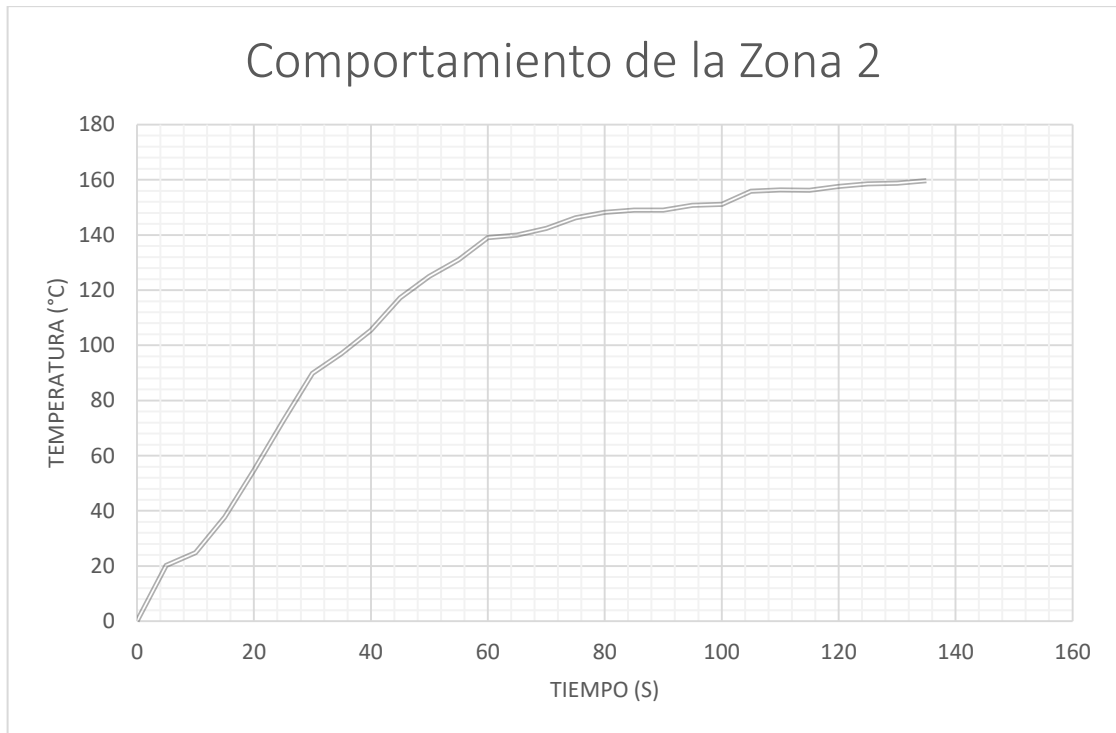


Gráfico 2-3: Comportamiento de la temperatura en la zona 2.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael, 2018

La gráfica 2-3, indica el comportamiento de la zona 2, en esta parte del sistema se evidenció la mayor temperatura, debido a que la concentración de calor se encuentra en la parte intermedia de la banda. El intervalo de funcionamiento correspondiente a esta zona fue de 151,094°C a 159,665°C, esta parte del proceso se la consideró como primordial para adquirir un resultado más preciso referente a la reactivación del pegamento.

- Para el tercer caso, correspondiente a la zona 3, se obtuvo los datos desde que el proceso se encontraba apagado hasta que inició el funcionamiento del mismo, habiendo obtenido los valores indicados en la tabla 3-3:

Tabla 3-3: Datos del comportamiento de la zona 3

ZONA 3	
Tiempo	Temperatura (°C)
0 s	0
5 s	19,6655
10 s	20,2333
15 s	22,3408
20 s	27,6554
25 s	30,2355
30 s	33,4354
35 s	35,2367
40 s	36,2311

45 s	39,3360
50 s	45,2344
55 s	49,1651
1 min	52,5451
1 min 5 s	57,3217
1 min 10 s	63,2105
1 min 15 s	67,3653
1 min 20 s	70,0984
1 min 25 s	72,5658
1 min 30 s	75,0118
1 min 35 s	78,1386
1 min 40 s	82,1120
1 min 45 s	83,0117
1 min 50 s	85,4531
1 min 55 s	86,5718
2 min	88,0877
2 min 5 s	88,9955
2 min 10 s	89,0065
2 min 15 s	89,0077

Fuente: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Como se puede ver en la tabla 1-3, se presentan los valores de la temperatura, con las variaciones respectivas y sus tiempos de funcionamiento. El valor de la temperatura que se tomó para llegar a la temperatura de funcionamiento (temperatura promedio), se encontró medido en el tiempo correspondiente a 1 min 40 s, con un valor de 82,1120°C, este valor se le consideró como el valor de funcionamiento correspondiente a la zona 3.

A continuación, se muestra la gráfica 3-3, donde se puede ver de manera más detallada el funcionamiento de esta zona.

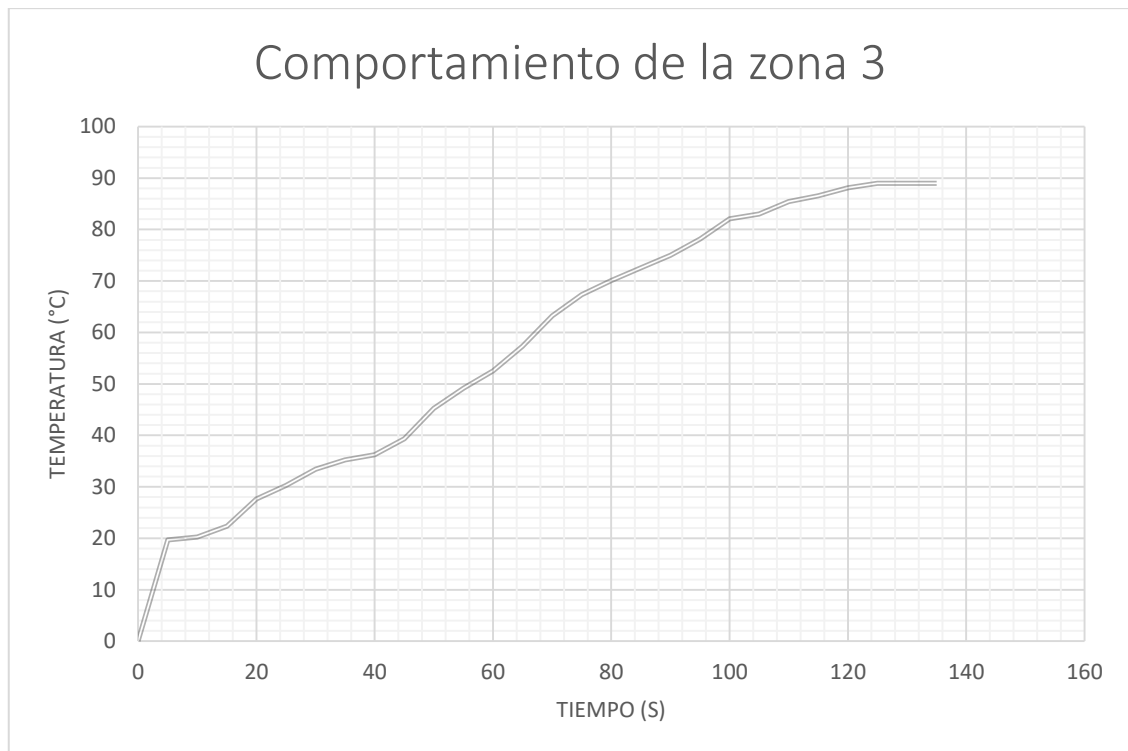


Gráfico 3-3: Comportamiento de la temperatura en la zona 3

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Játiva, Michael, 2018

La gráfica 3-3, indica el comportamiento de la zona 3, en donde se pudo evidenciar que, la medición de la temperatura partió desde que el sistema se encontraba apagado, hasta un intervalo constante de funcionamiento entre $82,1120^{\circ}\text{C} - 89,0077^{\circ}\text{C}$.

Luego de haber analizado las tres zonas, se puede decir que se logró el seguimiento de temperatura referente al proceso del calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho, el cual fue controlado por la histéresis. Se logró una clara lectura de los valores de funcionamiento de las zonas del sistema, habiendo obtenido los rangos de funcionamiento para cada una, correspondientes a:

- Zona 1: $85,0053^{\circ}\text{C} - 90,0034^{\circ}\text{C}$
 - Zona 2: $151,094^{\circ}\text{C} - 159,665^{\circ}\text{C}$
 - Zona 3: $82,1120^{\circ}\text{C} - 89,0077^{\circ}\text{C}$
- Para el análisis de la temperatura promedio, se obtuvo los datos desde que el proceso se encontraba apagado hasta que inició el funcionamiento del mismo, habiendo obtenido los valores indicados en la tabla 4-3:

Tabla 4-3: Comportamiento de la temperatura promedio

TEMPERATURA PROMEDIO	
Tiempo	Temperatura (°C)
0 s	0,000
5 s	20,321
10 s	22,283
15 s	28,273
20 s	37,317
25 s	46,067
30 s	54,941
35 s	60,174
40 s	65,175
45 s	71,658
50 s	78,161
55 s	81,815
1 min	85,709
1 min 5 s	88,397
1 min 10 s	91,634
1 min 15 s	94,740
1 min 20 s	98,091
1 min 25 s	99,981
1 min 30 s	101,695
1 min 35 s	104,351
1 min 40 s	106,070
1 min 45 s	107,987
1 min 50 s	109,279
1 min 55 s	110,036
2 min	110,914
2 min 5 s	111,927
2 min 10 s	112,290
2 min 15 s	112,892

Fuente: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

A continuación, se muestra la gráfica 4-3, donde se puede ver de manera más detallada el funcionamiento de esta zona.

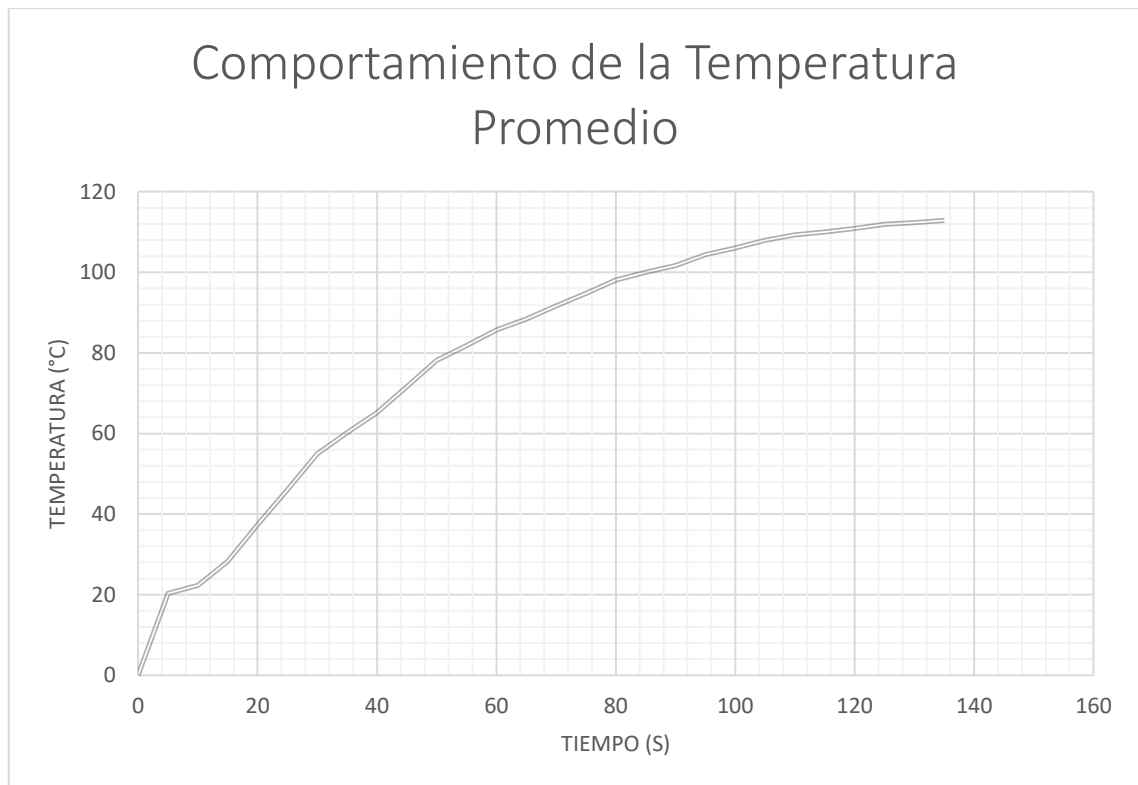


Gráfico 4-3: Comportamiento de la temperatura promedio

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Este valor de temperatura se obtuvo a partir de un promedio entre los valores de las tres zonas analizadas anteriormente, es así que, el valor de funcionamiento se midió en 1 min 40 s a 106,070°, siendo este el valor con el que el sistema empezó el proceso del calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho.

3.4.3 *Análisis de la Variable Velocidad*

Para el análisis de la velocidad se tomó en cuenta el valor de la temperatura promedio, dado que, la velocidad se encuentra en función de la misma, es así que se consiguió adquirir los siguientes valores del proceso medidos en tiempo real, tabla 5-3:

Tabla 5-3: Datos de la variable de velocidad en función de la temperatura

VELOCIDAD DEL MOTOR			
Tiempo	Temperatura Promedio (°C)	Revoluciones por minuto (RPM)	por
0 s	0,000		-42
5 s	20,321		-32
10 s	22,283		-31
15 s	28,273		-28
20 s	37,317		-23

25 s	46,067	-19
30 s	54,941	-15
35 s	60,174	-12
40 s	65,175	-9
45 s	71,658	-6
50 s	78,161	-3
55 s	81,815	-1
1 min	85,709	1
1 min 5 s	88,397	2
1 min 10 s	91,634	4
1 min 15 s	94,740	5
1 min 20 s	98,091	7
1 min 25 s	99,981	8
1 min 30 s	101,695	9
1 min 35 s	104,351	10
1 min 40 s	106,070	11
1 min 45 s	107,987	12
1 min 50 s	109,279	13
1 min 55 s	110,036	13
2 min	110,914	13
2 min 5 s	111,927	14
2 min 10 s	112,290	14
2 min 15 s	112,892	14

Fuente: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

A continuación, se muestra la gráfica 5-3, en donde se puede evidenciar de mejor manera el comportamiento de velocidad en función de la temperatura:

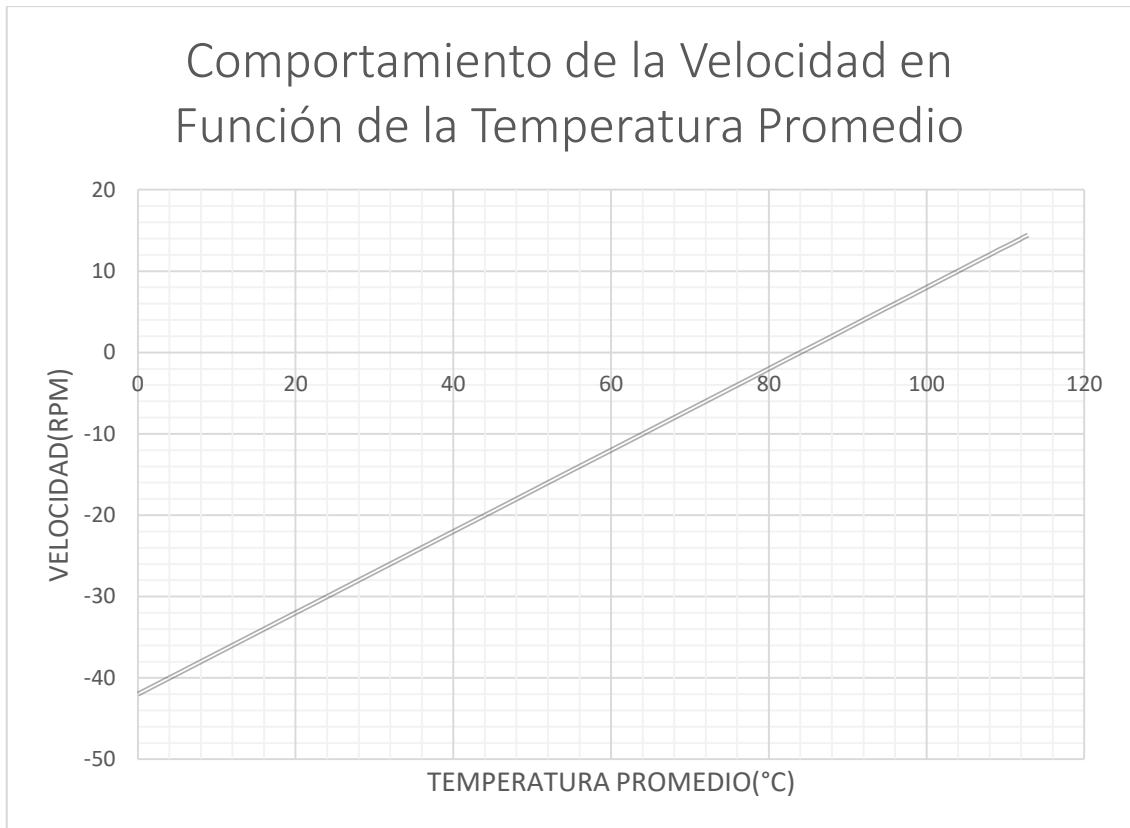


Gráfico 5-3: Comportamiento de la velocidad en función de la temperatura.

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Finalmente se logró observar que, bajo el resultado de la ecuación 3-2, de punto pendiente correspondiente a:

$$y = \frac{1}{2}x - 42$$

Se obtuvo una relación lineal entre la temperatura promedio y la velocidad del motor, dado que el pegamento que se eligió para el proceso del calentamiento y reactivación de pegamento, corresponde al pegamento industrial de poliuretano, el cual se reactiva en un rango de temperatura de 70°C a 110°C, es así que, debido a la escala del prototipo construido, el cual no corresponde a un tamaño típicamente usado en este proceso, se obtuvo los siguientes resultados:

- Se tomó el valor de temperatura correspondiente a 110°C como el límite máximo para el rango de trabajo del proceso en el control por histéresis, observando que este valor de temperatura otorgó una velocidad de 13 rpm para el proceso.
- La temperatura mínima de funcionamiento de 106°C, fue tomada debido al deseo de poder evidenciar de mejor manera el control por histéresis de los actuadores, es así que bajo el análisis aplicado se llegó al rango de funcionamiento entre 106°C – 110°C.

- Debido a que los datos de placa del motor correspondían a 1/2Hp, de 1500 rpm, fue importante buscar un valor mínimo con el que iba a poder actuar, es así que para el análisis de la ecuación de la recta se tomó como velocidad mínima el valor correspondiente a 11 rpm, el cual corresponde a la velocidad inicial con la temperatura de funcionamiento mínima de 106°C.

3.5 Análisis de Costos

Tabla 6-3: Análisis de Costos

MATERIA PRIMA	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
PLC Siemens S7- 1215	1	850,00	850,00
HMI Siemens KTP-700 Basic	1	800,00	800,00
Variador Schneider Electric	1	350,00	350,00
Módulo maestro Profibus	1	480,00	480,00
Módulo de entradas analógicas	1	130,00	130,00
Acondicionador de señal	3	100,00	300,00
Sensor láser	2	30,00	60,00
Sensor de temperatura pt-100	3	17,85	53,55
Relé de estado sólido	1	12,50	12,50
Breaker	1	10,00	10,00
Transformador de 220/110 V	1	38,50	38,50
Fuente de alimentación dc	1	25,00	25,00
Pulsador	2	2,50	5,00
Luces piloto	3	1,80	5,40
Selectores	1	2,50	2,50
Botoneras	2	5,00	10,00
Motor de 1/2 HP	1	120,00	120,00
Tuercas cabezas de martillo	30	1,50	45,00
Otros	1	60,00	60,00
TOTAL:			3357,45
MANO DE OBRA			
Estructura mecánica	1	500,00	500,00
Bases metálicas	7	5,00	35,00
Corte láser estructura externa	1	25,00	25,00
TOTAL:			560,00
COSTO TOTAL IMPLEMENTACION DEL SISTEMA:			3917,45

Fuente: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva; 2018

Realizado por: Fonseca, Fernanda; Michael, Játiva, 2018

En la tabla 7-3, se indica el costo de los dispositivos que fueron implementados en el sistema, así como también los servicios que fueron requeridos para el mismo. Observando que los elementos electrónicos representan el 85% de costo total, a diferencia de los servicios requeridos (mano de obra), que cubren el 15% del mismo.

CONCLUSIONES

- Tras el análisis de las técnicas de implementación Profibus DP, PA Y FMS, se selecciona Profibus DP, cuya velocidad de transmisión de 12Mbit/s representa la mejor opción para el proceso que se está realizando, debido a que la dinámica del motor es alta, de esta manera se cumple con las expectativas requeridas en base al funcionamiento del sistema.
- Con la implementación de la red Profibus, como dispositivo maestro el módulo Siemens Profibus y dispositivo esclavo el variador de frecuencia Schneider Electric, se logra la transmisión de datos de manera cíclica, logrando la comunicación entre los dispositivos y el proceso implementado.
- Se construye el prototipo de calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho, con diferentes actuadores como, la resistencia, ventilador y motor, que componen al sistema, con la finalidad de lograr el funcionamiento del proceso de manera automática.
- En base a la configuración del sistema y al tipo de comunicación que ofrece el controlador, se utiliza una pantalla táctil que permite visualizar la ejecución del proceso y las variables controladas en tiempo real, cabe destacar que existe una facilidad de uso, de conexión e instalación, facilitando la interacción humano - máquina.
- En base a las pruebas realizadas al sistema, se concluye como resultado el incremento de temperatura en cada zona de la banda, llegando así a obtener una temperatura promedio de 106°, con una velocidad inicial de 11 rpm, logrando así el funcionamiento adecuado del proceso.

RECOMENDACIONES

- Es necesario un previo análisis de los diferentes actuadores, para que tengan concordancia con la velocidad de transmisión de datos, y así evitar problemas dentro del proceso.
- La transmisión de datos debe ser menor o igual a 244 bytes, debido a que este valor corresponde al límite de los datos de las tramas que maneja Profibus DP.
- Se recomienda aislar térmicamente las paredes de la cámara de calentamiento, para incrementar técnicamente su resistencia térmica, con materiales aislantes.
- Se debe tener en cuenta que la interacción hombre – máquina debe ser clara y precisa, para que pueda ser un proceso accesible para cualquier usuario que va a manipular dicha implementación.
- Verificar las direcciones PROFIBUS de todos los dispositivos conectados a la red para que no existan duplicados o fallos al momento de la comunicación, al igual que las direcciones maestro y esclavo que corresponden de la 0 hasta las 126.
- Para el control, supervisión o desmontaje del prototipo es importante que se haya analizado los planos eléctricos y las características técnicas de cada dispositivo, así se podrá dar una mayor vida útil a los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

Adjusa. *Pulsadores eléctricos metálicos diámetro 22mm [en línea]*. Madrid, 2017. [Consulta: 13 marzo 2018]. Disponible en: <https://adajusa.es/pulsadores-electricos-o22mm-metalicos/>.

Airsense. *SIMATIC Basic Panel Siemens KTP700 Basic PN – 6AV2123-2GB03-0AX0 [en línea]*. Turku, 2017. [Consulta: 15 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.airsense.fi/product/simatic-basic-panel-siemens-ktp700-basic-pn-6av2123-2gb03-0ax0/>.

Aize klima s.l. *Ventilación / Extracción [en línea]*. Bilboa, 2013. [Consulta: 15 de marzo 2018]. Disponible en: <http://aizeklima.com/ventilacion-extraccion/>.

Automation, R. *Sensores Industriales [en línea]*. España, 2017.[Consulta: 15 marzo 2018]. Disponible en: https://www.rockwellautomation.com/es_ES/products/industrial-sensors/overview.page.

Automation 24. *Panel HMI Siemens KTP700 Basic PN - 6AV2123-2GB03-0AX0.* [en línea]. España, 2014. [Consulta: 15 marzo 2018]. Disponible en: 2014Available at: <https://www.automation24.es/panel-hmi-siemens-ktp700-basic-pn-6av2123-2gb03-0ax0>.

Axima. *Unidad de frecuencia Altivar 312.* [en línea]. Videňská, 2017. [Consulta: 12 marzo 2018]. Disponible en: <https://www.axima-obchod.cz/frekvencni-menic-altivar-312-10>.

Profibus DP. *Comunicaciones Industriales [blog]*. Valencia, 2014. [Consulta: 10 marzo 2018]. Disponible en: <http://victor-fuzzylogic.blogspot.com/2014/01/profibus-dp.html>.

Bocanegra, J. *Automatización industrial[en línea]*. 2014. [Consulta: 14 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Automatizacion-industrial,-del-vapor-a-la-luz+98162>.

Carrillo Calderón, Dayana Belén & Cushquiculma Colcha, Andres Fabián. *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO CON CONTROL DE ARRANQUE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA ETAPA 'ACABADO EN HÚMEDO' PARA EL LABORATORIO DE CURTIEMBRE CIENCIAS PECUARIAS (tesis)*. (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 25-26.

Castro Rojas, Adrian Alberto. *Sensores utilizados en automatización industrial* (tesis). (Ingeniería). Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 2008. pp. 13-29.

Climas S.A. Ventilación Industrial [en línea]. 2011. [Consulta: 16 marzo 2018]. Disponible en: http://www.climas.com/e_ventilacion.php.

Curtidos Anton. Proceso de Pegado del Calzado [blog]. 2016. [Consulta: 16 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.curtidosanton.com/blog/2016/07/06/proceso-de-pegado/>.

Electric, S. *Altivar 312 Variadores de velocidad*. Argentina: 2009, pp. 20-26.

Electric, S. 'Protección de las instalaciones eléctricas'. **Electric QO**. n° 02 (2009), (México) pp. 27- 28.

Euro Coms. *Fibre Optic Cabling* [en línea]. South Yorkshire, 2017. [Consulta en: 16 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.eurocoms.co.uk/ict-infrastructure/fibre-optic-cabling/>.

Flexlink. *Cintas transportadoras anchas de banda modular* [en línea]. Alemania, 2015. [Consulta en: 13 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.flexlink.com/es/home/products-and-services/aluminum-conveyor-systems/wide-belt-conveyors>.

Godofredo. *Elementos de protección en instalaciones eléctricas* [en línea]. 2012. [Consulta: 16 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.instalacionesgodofredo.es/blog/electricidad/elementos-de-proteccion-en-instalaciones-electricas.html>.

Gomez, K. *PROFIBUS* [blog]. México, 2015. [Consulta: 2 marzo 2018]. Disponible en: <http://karlagaona.blogspot.com/2015/09/profibus-introduccion-el-bus-de-campo.html>.

GSM Conveyors The World. *Refacciones y accesorios para transportadores*[en línea]. Ecatepec, Mexico, 2017. [Consulta: 7 marzo 2018]. Disponible en: <http://gsmconveyorstheworld.com.mx/refacciones-accesorios-transportadores/>.

Heraeus Noblelight. *Radiadores y sistemas infrarrojos para procesos térmicos industriales*[en línea]. México, 2015. [Consulta: 17 marzo 2018]. Disponible en: https://www.heraeus.com/es/hng/products_and_solutions/infrared_emitters_and_systems/infrared_emitters_and_modules_overview.aspx.

Hurtado, J. M. *Tutorial redes profibus-dp*. Departamento de Electricidad-Electrónica del I.E.S. Himilce: Linares, España, 2014, pp. 5-18.

ICP DAS. *PROFI-8855 [en línea]*. Shangai, China, 2013. [Consulta: 11 marzo 2018]. Disponible en: http://www.icpdas.com/root/product/solutions/industrial_communication/fieldbus/profibus/io_module/profi-8855.html.

Industria 4.0. *Elementos de Seguridad y Protección [en línea]*. España, 2008. [Consulta: 17 marzo 2018]. Disponible en: <https://automatismoindustrial.com/a-instalaciones-de-enlace/3-1-elementos-de-proteccion/elementos-de-seguridad-y-proteccion/>.

Industrial, T. *Pt100 Sonda Temperatura -20 A 420 Grados C Industrial [en línea]*. Quito, Ecuador, 2016. [Consulta: 16 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.tcsindustrial.com/shop/instrumentacion/86-pt100-sonda-temperatura-20-a-420-grados-c-industrial.html>.

Industry, D. *Horno de cámara/resistencia eléctrica [en línea]*. Estados Unidos, 2014. [Consulta: 17 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/thermal-engineering-srl/product-99995-1610798.html>.

ISA. ‘Sensores y Actuadores Definiciones (DRAE)’. *Balcells Romeral*, nº 155, (2008), (España) pp. 15-26.

Led Controls S.A. *Sensores inductivos M8 cuerpo corto Sensado larga distancia Micro Detectors AE6/AN*. Costa Rica, 2009. [Consulta: 15 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.ledcontrols.com.mx/ver.php?modelo=1002>.

Lopez, J. PROFIBUS. Departamento de Ingeniería en Sistemas: Barcelona, España, 2002, pp. 3-18.

López, J. C. *Proyectos de Ingeniería Mecánica*. UNAM: México, 2008, pp. 30-36.

López, V. D; et al. ‘Bandas transportadoras’. *Sistemas Mecánicos*, nº 100 (2015), (España), pp. 16 - 19.

LOPEZ S, José. A. *Verificación de Sistemas de Ventilación por Extracción Localizada*

(tesis).(Maestría). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España, pp. 4-5.

M. Moreno. ‘Controlador Lógico Programable’. *Automación Micromecánica s.a.i.c*, I, n° 7 (2002), (Argentina), pp. 80 - 84.

Net Siemens. S7-1200 - PROFIBUS CM 1243 - 5. *Instrucciones de Servicio*, n° 55 (2017), (España), pp. 25-27.

Ortiz Pacheco, Wellington Leonel. *ANÁLISIS DEL REACTIVADO (PEGADO) DE CALZADO Y SU INCIDENCIA EN EL RETRASO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA ARMANDINY DE LA CIUDAD DE AMBATO*(tesis). (Ingeniería). Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador, 2010, pp. 24-25.

Phoenix. ‘Perfiles de Profibus’. *Redes Industriales*, n°3, (1993), España, pp. 2-3.

PI-Brasil. *Descripción Técnica Profibus*. Asociación PROFIBUS Brasil América Latina, Sao Paulo, Brasil, 2012, pp 18 - 30.

PROVAC. *Bandas Modulares*[en línea]. 2015. [Consulta: 17 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.grupoprovac.com/index.php/ct-menu-item-12/ct-menu-item-18>.

ReinventandoelCalzado. *SECCIÓN DE LA MECÁNICA DE FABRICACIÓN: PEGADO. LODI*[en línea]. 2016. [Consulta: 17 marzo 2018]. Disponible en: <https://reinventandoelcalzado.es/seccion-la-mecanica-fabricacion-pegado-lodi/>.

RS. *Siemens S7-1200 PLC CPU, Ethernet Networking Profinet Interface, 100 kB Program Capacity* [en línea]. Estados Unidos, 2014. [Consulta: 7 marzo 2018]. Disponible en: <https://uk.rs-online.com/web/p/plc-cpus/8624483/>.

Salazar, Cesar; & Correa, Luis. ‘Buses de campo y protocolos en redes industriales’, *Ventana Informática*, n° 25, (2011), (Colombia), pp. 83–109.

Sevillano, F. ‘Variadores de frecuencia y convertidores’. *Sistemas de Regulación y*

Solbes Monzó, R. *Automatismos industriales : (contenidos conceptuales y procedimentales) : instalaciones eléctricas y automáticas*. Nau LLibres, 2013, pp. 23-29.

Wonderware. *Interfaz Hombre - Máquina (HMI)[en línea]*. 2016. [Consulta: 15 marzo 2018].
Disponible en: <http://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>.

ANEXOS

Anexo A: Programación del proceso

Anexo B: Diagrama de la comunicación Profibus

Anexo C: Diagramas de las entradas y salidas del PLC

Anexo D: Diagrama de Mando del Sistema

Anexo E: Diagrama de Potencia