



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE
PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE UTILIZANDO UN
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC Y
MONITOREO CON UN INTERFAZ HUMANO MÁQUINA
HMI, CON FINES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO Y
DIDÁCTICO EN LA PLANTA DE LÁCTEOS DE LA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI – ESPOCH”**

**GALLEGOS OVIEDO ALFONSO MARCELO
RICAURTE SEGOVIA DIEGO MAURICIO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Para a la obtención de título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

**RIOBAMBA-ECUADOR
2016**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2015-10-08

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**GALLEGOS OVIEDO ALFONSO MARCELO
RICAURTE SEGOVIA DIEGO MAURICIO**

Titulado:

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE
UTILIZANDO UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC Y
MONITOREO CON UN INTERFAZ HUMANO MÁQUINA HMI, CON FINES
DE DESARROLLO TECNOLÓGICO Y DIDÁCTICO EN LA PLANTA DE
LÁCTEOS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI – ESPOCH”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Ángel Silva Conde
DIRECTOR

Dr. Marco Haro Medina
ASESOR

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GALLEGOS OVIEDO ALFONSO MARCELO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE UTILIZANDO UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC Y MONITOREO CON UN INTERFAZ HUMANO MÁQUINA HMI, CON FINES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO Y DIDÁCTICO EN LA PLANTA DE LÁCTEOS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI – ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2016-07-12

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Álvarez Pacheco PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Ángel Silva Conde DIRECTOR			
Dr. Marco Haro Medina ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Carlos Álvarez Pacheco
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: RICAURTE SEGOVIA DIEGO MAURICIO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE UTILIZANDO UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC Y MONITOREO CON UN INTERFAZ HUMANO MÁQUINA HMI, CON FINES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO Y DIDÁCTICO EN LA PLANTA DE LÁCTEOS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI – ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2016-07-12

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Álvarez Pacheco PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Ángel Alberto Silva Conde DIRECTOR			
Dr. Marco Antonio Haro Medina ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Carlos Álvarez Pacheco
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORIA

El presente Trabajo de Titulación, es original y basado en el proceso de investigación y/o propuesta tecnológica establecida en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Gallegos Oviedo Alfonso Marcelo

Ricaurte Segovia Diego Mauricio

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Gallegos Oviedo Alfonso Marcelo y Ricaurte Segovia Diego Mauricio, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente, están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Gallegos Oviedo Alfonso Marcelo
Cédula de Identidad: 060329625-2

Ricaurte Segovia Diego Mauricio
Cédula de Identidad: 060346534-5

DEDICATORIA

Este Trabajo de Titulación lo dedico a mis amados padres, Alfonso y Meybol, por su sacrificio arduo y constante por el cual he podido llegar tan lejos; a mi hermana, Ximena, por su paciencia y generosidad, que ha sido una guía en mi vida; a mi cuñado, Eduardo, por sus consejos que me han dado una mejor perspectiva profesional; a mis sobrinos, Sebastián y Estefanía, por animarme todos los días con su alegría; y a una mujer muy especial que ahora forma parte de mi vida, Michele, por apoyarme a seguir mis sueños y ser un soporte de mi felicidad.

Alfonso Marcelo Gallegos Oviedo

Esta meta alcanzada la dedico principalmente a mis padres, Gualberto y Zoila, quienes confiaron plenamente en mí desde el primer día, sabiendo educarme y guiarme siempre por el camino correcto.

A mi hermano Alex, que con acertados consejos me ayudó en los momentos buenos y malos a pesar de cualquier circunstancia.

A mi novia, Ceci, que con su apoyo incondicional me motivó durante este largo camino, incentivando en mí el deseo de ser mejor cada día. Así como también a toda mi familia que siempre estuvo pendiente de mi progreso.

Diego Mauricio Ricaurte Segovia

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme una segunda oportunidad y bendecirme, a mis padres por darme más de lo que merezco; a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento por todo el conocimiento impartido.

Alfonso Marcelo Gallegos Oviedo

Primero a Dios por ser quien me concedió la vida y la bendición de una hermosa familia, por rodearme de gente buena, por escuchar mis oraciones y cuidar de las personas que aprecio.

A mis padres por su apoyo firme durante esta dura carrera. Hoy estoy seguro de que no los defraudé.

A mis familiares, mi pareja, mis amigos y a todos aquellos que con alguna palabra de aliento, me motivaron a seguir adelante y nunca decaer.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y permitirme formar parte de la familia politécnica.

A la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento y a sus profesores, que con su exigencia, su profesionalismo y dedicación, me impartieron sus amplios conocimientos sobre esta bella carrera.

Al Ingeniero a cargo de la Planta de Lácteos de la Estación Experimental Tunshi-ESPOCH, por permitir realizar este proyecto en sus instalaciones.

Diego Mauricio Ricaurte Segovia

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Reseña histórica Planta de Lácteos de la Estación Experimental Tunshi.....	1
1.2	Justificación	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	<i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos.</i>	2
2.	MARCO REFERENCIAL	
2.1	Proceso de pasteurización	3
2.2	Pasteurización de la leche	3
2.2.1	<i>Estandarización</i>	3
2.2.2	<i>Homogenización</i>	3
2.2.3	<i>Pasteurización</i>	3
2.2.4	<i>Refrigeración</i>	4
2.3	Métodos actuales de pasteurización.....	4
2.3.1	<i>Pasteurización baja (de tina o batch – L.T.L.T)</i>	4
2.3.2	<i>Pasteurización alta y rápida (H.T.S.T).</i>	5
2.3.3	<i>Ultra pasteurización (U.H.T)</i>	5
2.4	Sistema de calentamiento.....	6
2.4.1	<i>Caldero pirotubular.</i>	7
2.5	Sistema de refrigeración industrial	8
2.5.1	<i>Refrigeración por bancos de hielo</i>	8
2.6	Sistemas de control	9
2.6.1	<i>Sistemas de control de lazo cerrado</i>	10
2.7	Tipos de procesos.....	11
2.7.1	<i>Procesos discretos.</i>	11
2.7.2	<i>Procesos continuos</i>	12
2.7.3	<i>Procesos discontinuos o por lote</i>	12
2.8	Controlador lógico programable	12
2.9	Sensores o captadores	16
2.9.1	<i>Sensores de temperatura</i>	16
2.9.1.1	<i>Sensores termos-resistivos (RTD).</i>	17
2.9.1.2	<i>Sensores de presión</i>	19
2.10	Transmisión de señales	21
3.	CAPACIDAD INSTALADA DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN	
3.1	Estado actual de los equipos	24
3.1.1	<i>Caldero pirotubular</i>	24
3.1.2	<i>Tanque de recepción.</i>	25
3.1.3	<i>Banco de condensadores.</i>	25
3.1.4	<i>Banco de hielos</i>	26
3.1.5	<i>Pasteurizadora</i>	26

3.1.6	<i>Compresor de aire.</i>	27
3.1.7	<i>Homogeneizador</i>	28
3.1.8	<i>Descremadora centrífuga.</i>	28
3.1.9	<i>Tanque de almacenamiento</i>	29
3.2	Evaluación del estado inicial de los equipos.....	30
3.3	Propuesta de optimización para el proceso de pasteurización.....	30
3.3.1	<i>Diagramas de proceso.</i>	31
3.4	Método experimental	35
4.	DESARROLLO DEL PROYECTO	
4.1	Componentes requeridos.....	44
4.1.1	<i>Elemento de control</i>	44
4.1.2	<i>Elemento de monitoreo.</i>	45
4.1.3	<i>Diagrama de bloques del hardware del proceso</i>	45
4.1.4	<i>Diagrama de bloques del PLC</i>	46
4.1.5	<i>Diagrama de comunicación</i>	47
4.1.5.1	<i>Comunicación vía ethernet.</i>	48
4.1.5.2	<i>Estructura propuesta</i>	50
4.1.5.3	<i>Medio físico</i>	50
4.2	Estructuración del proyecto	52
4.3	Dimensionamiento de componentes	53
4.3.1	<i>Dimensionamiento de la fuente para sensores</i>	53
4.3.2	<i>Dimensionamiento de conductores eléctricos</i>	56
4.3.3	<i>Dimensionamiento del tablero de control</i>	61
4.3.3.1	<i>Aspecto de la envolvente</i>	61
4.3.3.2	<i>Índice de protección (IP)</i>	62
4.3.3.3	<i>Dimensiones del tablero.</i>	64
4.4	Descripción de los equipos	65
4.4.1	<i>Controlador SIMATIC S7-1200 1214C AC/DC/RELÉ.</i>	65
4.4.2	<i>Siemens SM 1231 RTD – 6ES7231-5PF32-0XB0.</i>	66
4.4.3	<i>Simatic HMI Basic Color KTP400</i>	67
4.4.4	<i>Sensores de temperatura Pt-500.</i>	67
4.4.5	<i>Relé de 24 Vcd Camsco.</i>	68
4.4.6	<i>Fusible y base para fusible.</i>	68
4.5	Asignación E/S del PLC	69
4.6	Listado de equipos, materiales e instrumentos	69
4.7	Proceso de automatización.....	71
4.7.1	<i>Descripción del proceso</i>	71
4.7.2	<i>Diagrama de flujo del proceso</i>	71
4.7.3	<i>Descripción de los equipos que intervienen en el proceso</i>	71
4.7.4	<i>Programación del PLC</i>	72
4.7.5	<i>Descripción del proceso</i>	72
4.8	Diagrama de flujo del proceso	74
4.9	Descripción de los equipos que intervienen en el proceso	75
4.10	Programación del PLC en el software	75
4.11	Software de programación TIA Portal V13	76
4.11.1	<i>Lenguajes de programación del TIA Portal</i>	76
4.11.2	<i>Requisitos mínimos para la instalación del software TIA Portal V13</i>	77

4.12	Lista de variables	77
4.12.1	<i>Programación formal o grafcet</i>	80
4.12.2	<i>Desarrollo del grafcet del proceso de pasteurizado.....</i>	81
4.12.3	<i>Desarrollo del grafcet del proceso de lavado</i>	83
4.12.4	<i>Cálculo de la ecuación de la recta para los transmisores de temperatura... 84</i>	
4.12.5	<i>Diseño y programación de la interfaz humano - máquina HMI.....</i>	89
4.12.6	<i>Diseño de las imágenes del HM.</i>	89
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	Conclusiones.....	97
5.2	Recomendaciones	98

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS
PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Características de las termoresistencias..... 18
2	Estado técnico de los equipos 30
3	Diagrama de proceso 32
4	Resultados obtenidos 33
5	Combinación 3 min (des) – 1 min (act)..... 35
6	Combinación 3 min (des)– 1 min y 30s (act) 37
7	Combinación 4 min (des) – 1 min (act)..... 38
8	Combinación 4 min (des)– 1 min y 30 s (act) 39
9	Combinación 5 m (des)-1 m (act)..... 40
10	Combinación 5 min (des) – 1 min30s (act) 41
11	Equipos para la automatización marca Siemens..... 53
12	Tipos de recubrimiento en conductores eléctricos..... 56
13	Resistividad específica de conductores 58
14	Calibre de conductores eléctricos AWG..... 58
15	Componentes del tablero de control 59
16	Calibres de conductores finales seleccionados 61
17	Índice de protección (IP) 62
18	Listado de equipos, materiales e instrumentos 70
19	Condiciones de temperatura para proceso de pasteurizado 74
20	Equipos que intervienen en el proceso 75
21	Características mínimas de hardware 77
22	Entradas digitales..... 78
23	Entradas analógicas 78
24	Marcas o memorias..... 78
25	Salidas digitales 80
26	Variables usados en el grafcet 81
27	Ecuaciones de primer nivel para proceso de pasteurizado 82
28	Ecuaciones de segundo nivel para proceso de pasteurizado..... 82
29	Ecuaciones de primer nivel para proceso de lavado 83
30	Ecuaciones de segundo nivel para proceso de lavado 83
31	Valores obtenidos del Pt-500 y el termómetro digital 85
32	Escala de valores..... 86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Equipo pasteurizador tipo L.T.L.T 4
2	Equipo pasteurizador tipo H.T.S.T 5
3	Equipo pasteurizador tipo U.H.T 6
4	Caldero pirotubular 7
5	Banco de hielo 9
6	Esquema del sistema 10
7	Esquemático sistema de control lazo cerrado 11
8	Controladores lógicos programables 12
9	Esquema de un autómeta dentro de un proceso 13
10	Esquemático de un sensor de tres hilos 16
11	Curvas del factor de resistencia de un RTD en función de la temperatura 18
12	Esquemático de RTD cilíndrica 19
13	Símbolo de un termo-resistor (RTD) 19
14	Sensores de presión 20
15	Esquemático de un conexionado de un lazo de control 22
16	Caldero pirotubular 24
17	Tanque de recepción 25
18	Banco de hielos 26
19	Pasteurizadora 27
20	Compresor de Aire 27
21	Homogenizador 28
22	Descremadora centrífuga 29
23	Curva de velocidad de calentamiento combinación 3min (des) – 1min (act)... 36
24	Curva de velocidad de calentamiento combinación 3min (des)-1min30s (act) 38
25	Curva de velocidad de calentamiento combinación 4 min (des) – 1 min (act). 39
26	Curva de velocidad de calentamiento Combinación 5m (des)-1m (act) 41
27	Curva de velocidad de calentamiento combinación 42
28	Curva comparativa de condiciones de tiempos 43
29	Diagrama de bloques del hardware 46
30	Diagrama de entradas al PLC 47
31	Diagrama de salidas del PLC ¡Error! Marcador no definido.
32	Comunicación ethernet 49
33	Diagrama de comunicación 50
34	Cable ethernet 51
35	Conector RJ45 51
36	Estándares T568A y T568B 52
37	Controlador SIMATIC S7-1200 1214 AC/DC/RELÉ 65
38	Módulo RTD de entradas analógicas x8AI 66
39	Pantalla táctil SIMATIC HMI KTP400 67

40	Sensores RTD de temperatura Pt-500.....	67
41	Relé de 24 Vcd	68
42	Base para fusible y fusible.....	69
43	Esquema básico de programación grafcet	81
44	Segmento de programación en TIA Portal en lenguaje KOP	84
45	Curva RTD baja – valor.....	86
46	Curva RTD alta – valor	87
47	Funciones matemáticas.....	88
48	Función CALCULATE	88
49	Acondicionado del valor RTD.....	89
50	Orden jerárquico de las pantallas del proceso	91
51	Imagen PRINCIPAL.....	91
52	Imagen CARÁTULA	92
53	Imagen ESCOGER PRODUCTO	93
54	Imagen ESTADO DE PROCESO	95

LISTA DE ABREVIACIONES

PLC	Controlador Lógico Programable
HMI	Interfaz Humano Máquina
LTLT	Low Temperature Long Time (Baja Temperatura, Largo Tiempo)
HTST	High Temperature Short Time (Alta Temperatura, Corto Tiempo)
UHT	Ultra High Temperature (Ultra Pasteurización)
RTD	Resistance Temperature Detector (Detector Termoresistivo)
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
LVDT	Transformadores Diferenciales Variables
PID	Ganancia Proporcional, Integral y Derivativo

LISTA DE ANEXOS

- A** Tablero de control automático
- B** Diagrama de flujo: proceso de pasteurizado y proceso de lavado
- C** Graficet proceso de pasteurizado y proceso de lavado
- D** Manual de usuario
- E** Manual de seguridad
- F** Manual de mantenimiento

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre la optimización de un proceso de pasteurización de la leche mediante un PLC con conexión HMI con fines tecnológicos y de desarrollo, ejecutado en la Estación Experimental Tunshi-ESPOCH. Dicha optimización se la logró a través de una automatización.

Previo al desarrollo de este trabajo se realizó una investigación del sistema presente en la planta de lácteos con la finalidad de detectar las posibles fallas existentes en el proceso de pasteurización. Después de estudiar y entender cómo trabajan los equipos dentro de la Planta se materializó el proceso en un diagrama de flujo para su posterior transformación en GRAFCET de primer y segundo nivel, concluyendo así en la programación del PLC.

La instalación y cableado del autómeta con el sistema de control del proceso se lo realizó siguiendo la normativa vigente. La optimización se aplicó en la modificación de los tiempos de activación y desactivación de la válvula de desvío previo a un estudio experimental, dicha válvula permite el calentamiento del sistema.

La programación fue esquematizada en el software TIA PORTAL V13 Profesional, la misma que está cargada en el autómeta programable PLC S7-1200 y en una pantalla táctil KTP 400 Basic Color, software que a su vez cuenta con su respectiva licencia.

El aporte de la carrera en este proyecto se materializa en la automatización que aporta a la optimización de un proceso industrial, analizándolo como un mantenimiento mejorativo por medio de un traslado tecnológico.

Además de la generación de manuales de usuario, mantenimiento y seguridad que garantizarán el funcionamiento, manejo y duración de los equipos.

ABSTRACT

It has made de optimization of a milk pasteurization by a PLC with HMI connection with technology and development purposes, it was executed in Tunshi-ESPOCH Experimental station. This optimization was achieved through the automation.

Prior to the development of this work, an investigation of the system was held at to dairy plant in order to detect possible faults in the pasteurization process. After studying and understanding the operation of equipment within the plant, the process was materialized in a flow chart for further processing in GRAFCET first and second level, concluding in PLC programming.

Installation and wiring with the process control system. It was made according to local regulations. The optimization was applied in changing times on and of diverter valve. Prior to an experimental study, the valve allows heating system.

Programming was schematized in TIA Portal V13 Professional Software, also it is loaded in the PLC S7-1200 and a touch screen KTP 400 Basic Color, software, wich has its respective license.

The contribution of the career in this project it materializes in automation that contributes to the optimization of an industrial process, analyzing as a maintenance to improve by a technology transfer.

In addition, generation of user manuals, maintenance and security to ensure the operation, management and equipment life.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 **Reseña histórica de la Planta de Lácteos de la Estación Experimental Tunshi**

La Planta de Lácteos de la Estación Experimental Tunshi está conformada por equipos para la elaboración de quesos, yogurt y tratado de leche, estos equipos llegaron a la localidad gracias a la Corporación Técnica Suiza con el programa bovinos de leche y equinos y también con el convenio ESPOCH-Embajada de Japón con el proyecto Plan Piloto de Lácteos, en el año 2000, después de instalados los equipos producían más de 600 litros diarios y lo producido se entregaba al ancianato y hospitales.

Con el fin de fomentar el desarrollo en la investigación la Planta de Lácteos se centró en la producción y tratado de la leche, además de brindar servicios de capacitación y mejora en las comunidades aledañas, las instalaciones también sirven para difundir el conocimiento a través de la práctica a los estudiantes de la Facultad de Ciencias Pecuarias.

1.2 **Justificación**

En la industria láctea el proceso de pasteurización es elemental debido a que éste permite la destrucción de microorganismos patógenos presentes en la leche cruda, los cuales son nocivos para la salud humana. Por tal motivo debe tenerse un estricto control de temperaturas, tiempos y presiones para garantizar dicho proceso.

En la planta de lácteos, los equipos que intervienen en el pasteurizado cuentan con manómetros y termómetros para el control este proceso, sin embargo no existe un adecuado control del tiempo, lo que provoca reprocesamientos de la leche y con ello la demora del proceso, así mismo los operarios muchas de las veces no prestan atención a la ejecución del mismo, descuidando los tiempos y temperaturas adecuadas causando el deterioro del valor nutricional de la leche. En la actualidad, los procesos industriales buscan una efectiva solución para el control y monitoreo de estos parámetros, por lo que

se han venido implementando los conocidos Controladores Lógicos Programables en procesos de automatización.

La adaptación de estos dispositivos electrónicos, elimina estos problemas, aumentando la eficiencia del funcionamiento de los procesos, reduciendo pérdidas de materia prima, tiempos y adicionalmente brindando un grado de seguridad en la realización del producto aportando de tal manera con el tercer objetivo del Plan Nacional del Buen Vivir, “Mejorar la calidad de vida de la población”, una forma de lograrlo es brindando productos íntegros y aptos para el consumo humano; además de brindarle un valor agregado a través de la incorporación de tecnología actualizada basado en el segundo eje de la Matriz productiva del país.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Optimizar el proceso de pasteurizado de la leche utilizando un controlador lógico programable PLC y monitoreado con un interfaz humano máquina HMI, con fines de desarrollo tecnológico y didáctico en la planta de lácteos de la Estación Experimental TUNSHI – ESPOCH.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Analizar los factores que intervienen en el proceso de pasteurizado de leche en la planta de lácteos de la Estación Experimental Tunshi – ESPOCH.
- Dimensionar y seleccionar los dispositivos, elementos y componentes necesarios para la mejora del proceso.
- Programar e instalar los componentes y dispositivos electrónicos propios para el control del proceso de pasteurizado.
- Evaluar el funcionamiento del proceso y comparar sus parámetros con los deseados en la pasteurización de leche.
- Elaborar un manual para el adecuado mantenimiento y operación del sistema, así como también de seguridad para el uso del mismo.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Proceso de pasteurización

La leche es una secreción de las glándulas mamarias de los mamíferos destinada para el consumo de sus crías. La leche y sus derivados para poder ser consumidos por las personas deben atravesar un proceso de pasteurizado. El cual se considera como un tratamiento que se le da a la leche con la finalidad de eliminar los agentes patógenos presentes en el mismo evitando el deterioro de sus propiedades nutritivas. Este proceso indirectamente también aumenta el tiempo de vida útil del producto. Estos agentes pueden causar serias enfermedades a las personas (Salmonelosis, Tuberculosis, Estafilococos, entre otras) si no se las elimina. (VILLACRÉS, 2014)

2.2 Pasteurización de la leche

Se recomienda que el pasteurizado de leche debe cumplir con las siguientes etapas importantes de carácter obligatorio:

2.2.1 Estandarización. La leche cruda que ingresa al proceso tiene un contenido aproximado de 3% de grasa o crema, a la cual se le realiza un precalentamiento para que su estado se consiga un punto neutro entre estos.

2.2.2 Homogenización. Esta segunda etapa lo que se busca es reducir el tamaño de los glóbulos grasos presentes en la leche así como ajustar su forma a una similar, es decir formar una estructura homogénea y así evitar que dichas partículas de grasa se expandan cuando la leche pase en reposo un tiempo considerable.

2.2.3 Pasteurización. En este punto lo que se realiza mediante un intercambiador de calor, es que la leche adquiera una temperatura elevada (65-70 °C), durante un tiempo determinado para asegurar la eliminación de bacterias, luego ésta será enfriada de manera brusca y con ello eliminar cualquier tipo de patógeno existente. El tiempo y la temperatura son aspectos críticos en esta etapa, debido a que estos serán los

determinantes del tiempo de caducidad de la leche así como también de la calidad de la misma.

2.2.4 Refrigeración. La leche pasteurizada se debe enfriar de 3-4 °C para que conserve sus características y finalmente envasado. El producto siempre debe estar refrigerado caso contrario disminuye el tiempo de caducidad (SKOLOW, 1982).

2.3 Métodos actuales de pasteurización

Generalmente se utilizan tres diferentes procesos de pasteurizado, aunque el procedimiento es el mismo lo que los diferencia son los parámetros de tiempos y temperatura. Estos métodos son:

2.3.1 Pasteurización baja (de tina o batch – L.T.L.T). Este método era uno de los más utilizados en América debido a su facilidad de manejo, aunque este proceso necesitaba de una capacidad de instalación amplia. Se lo utiliza generalmente cuando se procesan pequeñas cantidades de leche.

Este método consiste en calentar el agua a una temperatura de 63 °C durante aproximadamente 30 minutos, luego se le deja enfriar a temperatura ambiente que puede durar 24 horas hasta alcanzar los 6 °C y se lo envasa de manera inmediata para evitar cualquier posible contaminación. El tiempo de caducidad de la leche varía entre 5 y 6 días.

Figura 1. Equipo pasteurizador tipo L.T.L.T



Fuente: <http://www.urumilk.com/pasteurizadores.html>

2.3.2 *Pasteurización alta y rápida (H.T.S.T).* Conocido también como High Temperature-Short Time (H.T.S.T). El espacio requerido para la instalación de éste método es reducido, se caracteriza por poder procesar grandes volúmenes de leche de manera continua, así mismo la limpieza de los equipos es fácil y rápida. Es una de las recomendadas por el ahorro energético que tiene y al ser un proceso totalmente hermético una vez que la leche ingresa las probabilidades de contaminación son mínimas.

En este método el procedimiento como su nombre lo dice es rápido, se eleva la temperatura de la leche hasta alcanzar entre 65 – 70 °C durante 15 segundos y se lo enfría de manera brusca hasta los 4 – 6 °C. Elimina el 100% de bacterias patógenas y el 99,9% de bacterias alternantes. Este proceso alcanza un período de caducidad de 3 a 4 semanas.

Figura 2. Equipo pasteurizador tipo H.T.S.T.



Fuente: http://www.pieralisi.com/es/Viewdoc?co_id=470

2.3.3 *Ultra pasteurización (U.H.T).* Conocida como Ultra High Temperature por sus siglas en inglés, varios autores la denominan Esterilización de la leche, la diferencia de este proceso con los otros es que la temperatura se eleva por encima de los 100°C, entre 130 y 150 °C concretamente por un tiempo de 2 a 4 segundos y se lo enfría de manera rápida o a temperatura ambiente según el producto final.

Asegura la eliminación de los agentes patógenos y por el corto tiempo que se expuso a altas temperaturas el deterioro de los nutrientes y propiedades de la leche son mínimas.

El tiempo de caducidad de la leche una vez realizado este método de pasteurizado, puede alcanzar de 3 a 4 meses.

Figura 3. Equipo pasteurizador tipo U.H.T.



Fuente: www.vigusa.com.mx/maquinaria-pasteurizacion.php

Cada uno de estos diferentes métodos de pasteurización, aunque tiene varias diferencias respecto a su funcionamiento, hay algo que todos tienen en común, y es el sistema de calentamiento y refrigeración que se detallarán a continuación.

Los métodos que se mencionaron anteriormente cumplen con los niveles permisibles de agentes patógenos presentes en la leche según la normativa vigente en el país para la leche pasteurizada.

En el proceso de pasteurización intervienen ciertas máquinas y equipos que se describirán a continuación (VILLACRÉS, 2014).

2.4 Sistema de calentamiento

Todos los métodos utilizan vapor para el sistema de calentamiento, debido a su gran capacidad de transportar energía calorífica.

El corazón de un sistema de vapor es el caldero, este no es más que un equipo formado por su estructura o cuerpo y un quemador, el principio de funcionamiento es sencillo, se puede asemejar a una olla gigante en el que se introduce agua, se calienta a altas temperaturas al quemar el combustible lo que genera la transmisión de su energía calorífica hacia el agua y produciendo la ebullición de la misma, lo que finalmente da como resultado el vapor. Este proceso varía según el tipo de caldera.

2.4.1 Caldero pirotubular. Es el tipo de caldero más utilizado a nivel industrial por la capacidad que puede soportar. Este tipo de caldero se lo denomina así debido a los humos resultantes de la combustión del combustible atraviesan por el interior de los tubos hacia una salida conocida como chimenea. El exterior de estos tubos está anegado con agua lo cual al estar en contacto directo con los mismos empiezan a generar vapor, el cual asciende y se empieza a acumular hasta que una válvula permita el paso del mismo hacia el proceso. Pueden ser dispuestos de forma vertical u horizontal según su diseño y las necesidades del proceso.

Figura 4. Caldero pirotubular



Fuente: <http://www.geocities.ws/CollegePark/Library/6086/caldera.html>

Los calderos pirotubulares tienen definidas tres partes principales:

- Hogar. Generalmente de forma cilíndrica, también existen modelos con forma rectangular, construido con doble pared, al exterior del mismo se encuentra totalmente rodeado de agua. Se le conoce además con el nombre de caja de fuego ya que es ahí en donde se encuentra la llama producto de la combustión.
- Caja de tubos o paquete multitubular. Se los denomina así a una cantidad de tubos de pequeño diámetro. Luego de generarse la llama en el hogar, los humos resultantes de estos recorren por dichos tubos, los mismos que nacen de una prolongación del hogar hacia la chimenea del caldero.
- Cuerpo del caldero. Es el lugar en donde se produce el vapor que será transportado hacia el proceso de pasteurizado y se encuentra atravesado de manera longitudinal

por el paquete multitubular (MARTÍNEZ, 2000).

2.5 Sistema de refrigeración industrial

Estos sistemas de refrigeración industrial son contruidos y diseñados en base a teorías de la termodinámica, por lo mismo, estos lo que buscan es obligar al intercambio de la energía calorífica desde un punto caliente a otro frío.

Debemos tener en cuenta que el calor se desplaza siempre hacia un foco frío hasta que ambos equilibren su temperatura.

Estos intercambios de calor pueden durar tiempos considerables dependiendo de la cantidad de calor a desplazarse, lo cual las industrias no están dispuestas a esperar, por este motivo se utilizan refrigerantes, estos son todas aquellas sustancias que sea capaz de absorber calor, actualmente muchos son producidos en industrias químicas, por lo que se los define como compuestos químicos, líquidos o gaseosos que tiene la capacidad de absorber el calor de un cuerpo o sustancia y transportarlo hacia otro.

Generalmente en industrias alimenticias se utiliza sistemas de refrigeración por agua, tiene sus ventajas como es su bajo costo de adquisición, en caso de una fuga no es perjudicial al ambiente o al proceso.

Así mismo tiene ciertas desventajas como son su elevado punto de congelación a diferencia con los refrigerantes químicos, además genera deterioro de las tuberías metálicas, por lo que se recomienda que éstas sean de acero inoxidable.

2.5.1 *Refrigeración por bancos de hielo.* Este método de refrigeración es el comúnmente utilizado en las industrias lácteas, alimenticias, cerveceras e incluso en la producción de zumo de frutas, así como también es usada en la refrigeración de medicamentos y productos químicos.

Como podemos observar en la Figura 5, se trata de un tanque rectangular, el cual contiene en su interior placas posicionadas de forma vertical, estas placas cumplen la función de evaporador, en el cual se incrusta el hielo en su superficie, generalmente las temperaturas a las cuales se produce la evaporación en este método de refrigeración varía entre -4 y -

10 °C, estos valores varían en función al tiempo que el banco permanezca funcionando, así mismo estas bajas temperaturas se generan por el uso de un gas refrigerante. El agua que proviene del proceso, pasa por un circuito instalado en la parte inferior del recipiente el cual produce un intercambio de calor.

Figura 5. Banco de hielo



Fuente: <http://www.htt-ag.com/es/products/ice-bank>

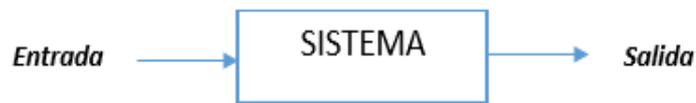
Como sabemos este proceso de refrigeración es crítico en el pasteurizado de leche, por lo que debe ser controlado y monitoreado para que el proceso sea eficaz y el producto de la mejor calidad (SOTO, 2011).

2.6 Sistemas de control

Para poder controlar un proceso, se debe tener conocimientos básicos sobre los sistemas, la forma de control, y su estructura. Un sistema es comparado con una caja o un bloque, el cual tiene entrada(s) y salida(s). Para que este bloque sea un sistema completo debe existir una relación entre la salida y la entrada del mismo. Dentro del sistema existen varios componentes que realizan una función e interactúan juntos para lograr obtener dicha salida, más estos no se toman en cuenta al establecer la relación, es por este motivo que solo tienen relevancia la entrada y la salida.

Un sistema de control es cuando a la salida se le puede modificar o dar un valor deseado en función de la variación del valor de entrada, es decir, al modificar el valor de entrada se modifica el valor de la salida. Este cambio de valor nos permite conocer las diferentes reacciones que se puede producir dentro de un sistema según sus variables.

Figura 6. Esquema del sistema



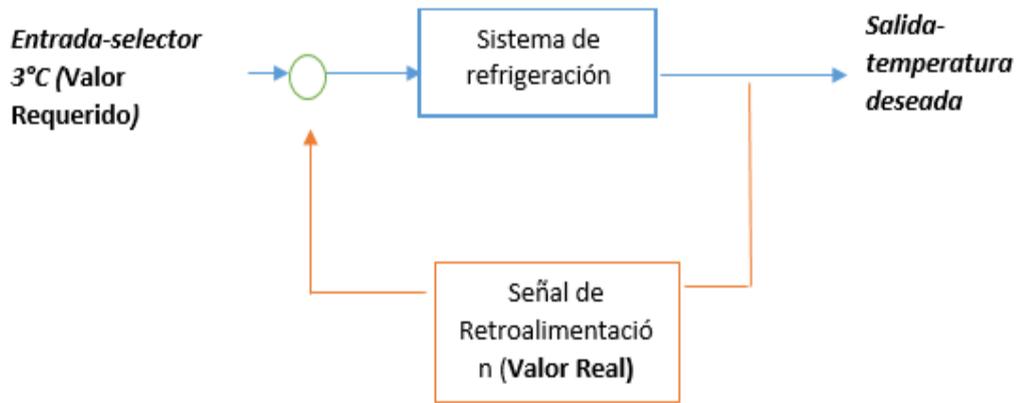
Fuente: Autores

2.6.1 *Sistemas de control de lazo cerrado.* En este caso, la salida si afecta a la entrada del sistema, se le conoce al sistema de esta manera debido que es retroalimentado, es decir, a la salida del sistema existe un sistema de medición que censa e indica si se cumple con la condición de ingreso al sistema, caso contrario modificar el valor de la entrada, entonces se envía esta señal a la entrada del sistema para que se realice el ajuste necesario y así seguir obteniendo la salida deseada del sistema, este tipo de procesos es muy utilizado en la industria que trabaja con producción en serie, es comúnmente visualizado en la industria alimenticia y proceso de alimentos.

Tomando el ejemplo anterior, al necesitar una temperatura de 2 a 4 °C en el cuarto, yo especifico que deseo que el cuarto se mantenga en 3 °C, entonces esta señal será la entrada, mi sistema de refrigeración realizará el ajuste y a la salida tendremos 3 °C, pero lo que importa al circuito no es la temperatura de salida sino la temperatura del cuarto, por lo que se coloca una termómetro y este nos indicará la temperatura real del mismo, al alcanzar la temperatura deseada el termómetro puede enviar una señal a la entrada del sistema indicando que ya no es necesario que se encuentre encendido y apaga el sistema de refrigeración, al subir la temperatura a 4 °C se enviará otra señal indicando que encienda el circuito para obtener los 3 °C que se seleccionó inicialmente y de esta manera el sistema estará encendiéndose y apagándose continuamente manteniendo las condiciones deseadas por el usuario.

Si ocurre la condición del ejemplo anterior en el que por descuido se dejó la puerta abierta la temperatura del cuarto empezará a subir debido al ingreso del aire caliente al cuarto, por lo que, el termómetro enviará una señal indicando que no se encuentra a la temperatura deseada y obligará al sistema de refrigeración a trabajar más para lograr obtener los 3 °C que necesita el proceso, encendiendo o apagando el sistema según el mismo determine que las condiciones no se estén cumpliendo y logrará mantenerlos lo más constante posible aunque la puerta esté abierta, esto puede producir sobrecargas.

Figura 7. Esquemático sistema de control lazo cerrado



Fuente: Autores

Como podemos observar en la Figura 7, se tiene un valor real que es el que retroalimenta al sistema indicando si se cumple o no con el valor deseado de la salida, por lo que la nueva entrada que va al sistema es el resultado de la diferencia entre el valor real y el requerido, el cual según su valor se ajustará el sistema para lograr obtener un valor de salida deseado.

Este sistema es mucho más complejo, por lo que resulta más costo y por la gran cantidad de componentes que lo conforman que susceptible al fallo de alguno de estos.

Pero puede dar un valor de salida exacto al igualar el valor real con el requerido, lo cual es muy importante para ciertos procesos, en aquellos en los que se necesita precisión el reto es evitar que el tiempo de respuesta a la corrección sea lento.

Para el control del proceso de pasteurizado debemos identificar las entradas y salidas del sistema, los actuadores necesarios y los parámetros o valores que se deben manejar.

2.7 Tipos de procesos

Industrialmente, los procesos en función de su comportamiento en el tiempo se los puede clasificar como discretos, continuos y discontinuos o por lotes.

2.7.1 Procesos discretos. Este tipo es particular en la producción de piezas simples, es decir, un proceso de tipo discreto es aquel en el cual se realizan varias operaciones secuenciales para obtener una pieza. El nombre de discreto es porque maneja datos de

todo o nada, sí o no, es decir, condiciones de cumple o no cumple. Un ejemplo puede ser la producción de piezas de madera para juegos infantiles, primero se realiza el corte de la pieza con las medidas especificadas, después se realiza un taladrado en una posición requerida, seguido de un pulido y finalmente el pintado de la pieza terminada. Una característica muy notable que tienen estos tipos de procesos es que se puede detener el proceso sin provocar graves inconvenientes.

2.7.2 *Procesos continuos.* Al contrario que los discretos, estos procesos no se los puede detener sin afectar al mismo, es por eso el nombre de continuos. Además manejan solo valores de tipo continuo o analógico como son temperatura, presión, caudal, etc. Estos procesos se encuentran donde la producción se realiza de manera constante, la materia prima debe recorrer todo el proceso sin interrupciones, entre los más comunes industrias químicas, farmacéuticas, petroleras, alimenticias, entre otras.

2.7.3 *Procesos discontinuos o por lote.* Son procesos muy comunes en el área industrial, son muy parecidos a los procesos discretos, las operaciones que se realiza en estos procesos son de fácil control.

Se caracterizan principalmente porque la materia prima son productos resultantes de un proceso discreto, los cuales serán utilizados para el ensamblaje o construcción de un producto final. Este proceso no necesariamente debe ser constante, puede detenerse en algún momento sin generar graves consecuencias. (SÁNCHEZ, 2003)

2.8 Controlador lógico programable

Figura 8. Controladores lógicos programables



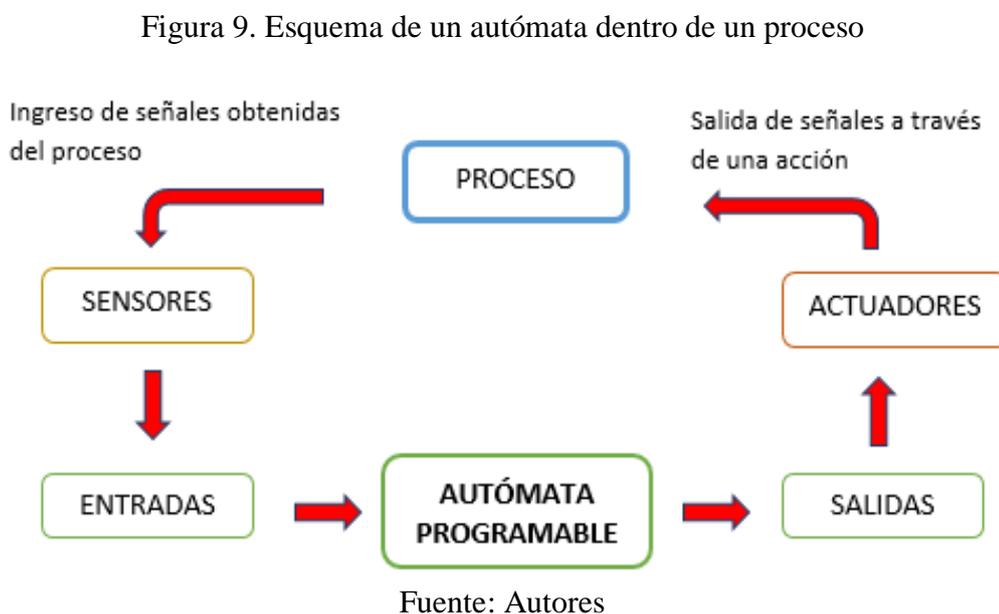
Fuente: <http://www.ctinmx.com/que-es-un-plc/>

Un controlador lógico programable o también conocido como autómatas programables, es un dispositivo electrónico, el cual tiene la capacidad de leer instrucciones previamente programadas o ingresadas en su memoria interna para ejecutar una acción o una función establecida, estos dispositivos cuentan con funciones lógicas, de control de tiempo, conteo, registros, secuencias e inclusive operaciones aritméticas por lo que lo hace un dispositivo muy completo para el uso industrial.

El autómatas puede recibir señales análogas y digitales a sus entradas y en función de la programación interna enviar señales a los actuadores correspondientes conectados a las salidas de este dispositivo.

Estos dispositivos electrónicos fueron creados en base a microcontroladores o microprocesadores, los cuales eran capaces de ejecutar acciones electromecánicas.

El siguiente esquema representa como está gráficamente enlazado el autómatas con el proceso:



Es así que actualmente en los procesos industriales, la aplicación de los PLC's han aumentado significativamente y se debe por la gran utilidad que estos pueden ofrecer no solo al proceso sino también a los operadores, estas utilidades son la facilidad de supervisión del proceso, control e incluso señalización que facilitan el manejo y disminuyen las probabilidades de fallas, es decir, aumentando la eficiencia del sistema.

Los autómatas programables a través de una conexión a un ordenador se pueden controlar y supervisar a distancia cada etapa de los procesos, hoy en día el uso de un interfaz hombre máquina (HMI), generalmente pantallas táctiles, son indispensables para la visualización y monitoreo del estado de cada etapa, equipo o parámetro a controlar.

Los autómatas cada vez son más compactos y potentes, lo que provoca mayor comodidad en la instalación de los mismos en pequeños gabinetes y con un reducido cableado.

En la figura 8, podemos observar que existen sensores y actuadores, estos dos envían señales conocidas como variables externas hacia el controlador, los primeros envían señales externas de entradas y los segundos externas de salidas. Los autómatas manejan variables internas y externas las mismas que se explicarán a continuación:

- Variables internas. Estas variables se encuentran dentro de la memoria del controlador con cada una de sus zonas asignadas. Dentro de estas variables se almacenan los datos parciales obtenidos de operaciones lógicas o aritméticas que el usuario necesita para ejecutar los procesos.

Los autómatas generalmente tienen las siguientes variables internas:

- Señal de inicio de la unidad
- RUN (Impulso inicial del programa)
- Señal de reloj

- Variables externas. Todos los autómatas tienen definidas dos zonas independientes en la memoria para las variables externas, una para entradas y otra para las salidas. Dentro de estas memorias se pueden almacenar bits o bytes, si el dato a guardar es de tipo digital, es decir todo/nada, la memoria direcciona a un almacenamiento de bit, si este dato es de tipo analógico la memoria lo direcciona como byte.

Las variables externas de entrada leídas por el autómata pueden ser:

- Variables externas digitales (todo/nada). Son aquellas que se generan por el pulso de un botón o la activación/desactivación de un contacto. (Botón, final de carrera,

sensor de movimiento, etc.) Este tipo de variables externas, pueden trabajar mediante señales de voltaje o tensión alterna o continua, siendo los más comunes dentro del campo industrial las de 24 VCA, 24 VCD y 220 VCA.

- Variables externas analógicas. Son señales enviados de manera continua, así por ejemplo sensores de presión, termopares, medidores de caudal, etc.

Los autómatas al trabajar con variables analógicos, reciben señales de voltaje o intensidad, de (0 – 10) VCD y de (4 – 20) mA respectivamente.

Los controladores lógicos programables no trabajan directamente con señales analógicas, sino mediante convertidores de señal, que pueden ser utilizadas en entradas y salidas del autómata, discretizan esta señal, es decir, convierte la misma que es de tipo analógico en señales digitales para facilitar las operaciones que se van a realizar con las ellas.

Las variables externas de salida enviadas por el PLC también pueden ser digitales (todo/nada) o analógicos.

- Variables externas de salida digital (todo/nada). El autómata envía una señal de tensión hacia la salida destinada según las instrucciones programadas por el usuario. Este tipo de salida puede ser de tres maneras: salida a triac, salida a transistor y salida a relé. El uso de estos depende de las características del proceso y de los actuadores, las tres opciones funcionan como interruptores.
- Variables externas de salida analógica.- El autómata realiza las operaciones previamente programadas y el resultado las envía a un conversor de señal digital – analógica y los envía a la salida destinada. Entrega al proceso señales continuas de tensión en el rango de (0 – 10) VCD.

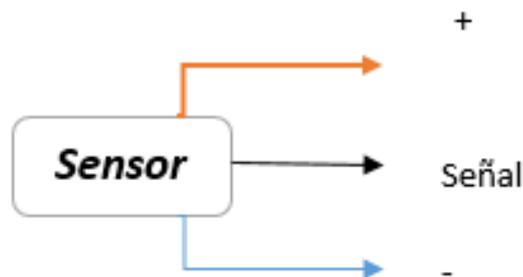
Las zonas definidas en la memoria del autómata para las variables externas tienen una relación directa entre las posiciones físicas en donde se realizarán las conexiones de las variables, tanto de entrada y salida con las posiciones que tienen en la memoria del equipo en la cual será almacenada la información y la programación. (MALONEY, 1993)

2.9 Sensores o captadores

Los sensores son dispositivos que tienen la capacidad de medir magnitudes físicas y convertirlas en señales eléctricas de voltaje, intensidad o resistencia.

Existen principalmente dos tipos de sensores, los que trabajan con dos estados activado/desactivado, que son utilizados en las entradas todo/nada del autómatas y los que miden valores graduables o continuos y se los conecta a las entradas analógicas del PLC. Actualmente en la industria se utilizan sensores de tres hilos, los cuales por norma sus salidas son NPN y PNP. (En caso de usar un NPN, el módulo debe tener conectado a masa el positivo de la alimentación).

Figura 10. Esquemático de un sensor de tres hilos



Fuente: Autores

2.9.1 Sensores de temperatura. La temperatura es la medición de la energía cinética producida por las moléculas de los cuerpos.

Comúnmente es una de las variables físicas a tener muy en cuenta en la mayoría de procesos industriales, especialmente para procesos en los cuales se trabaja y trata con alimentos o productos de consumo y por lo tanto los métodos de monitoreo y control de ésta son cada vez mejores.

Existen varios tipos de instrumentos para la medición de temperatura, cada uno basado en un fenómeno distinto producido en función a la presencia de temperatura, entre los fenómenos más comunes y utilizados en el medio tenemos:

- Variaciones de volumen
- Variaciones de resistencia en los materiales conductores

- Variaciones de la f.e.m. generada por la unión de dos metales diferentes.
- Variaciones de la intensidad de la radiación total emitida por los cuerpos.
- Entre otros.

Tras el estudio de estos fenómenos producidos con la presencia de la temperatura, se han elaborado instrumentos como: Termómetros de vidrio, RTD's (detector o sensor termoresistivos), termopar o par termométrico, pirómetros y demás.

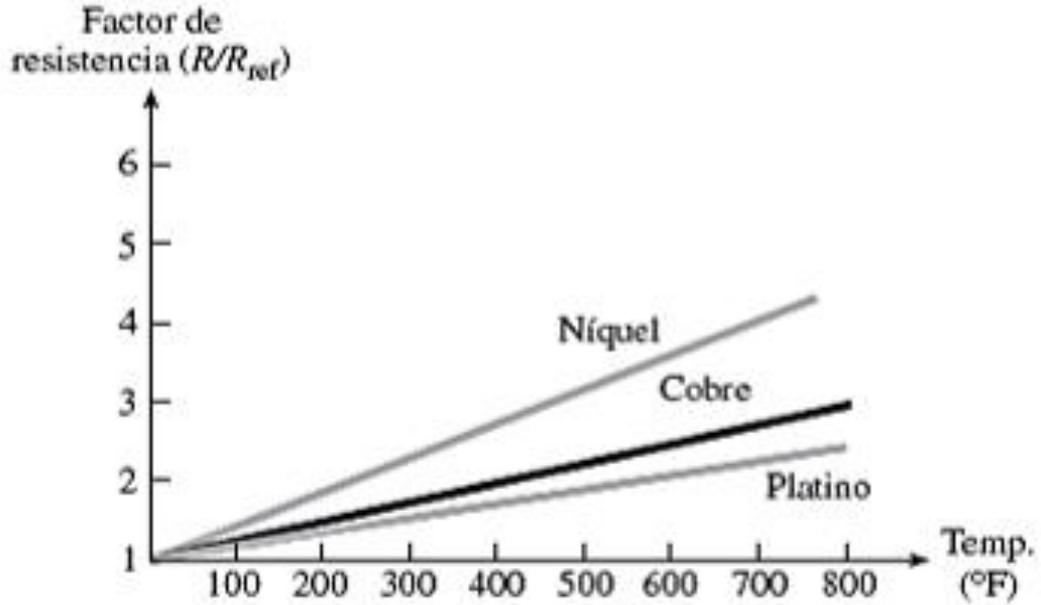
2.9.1.1 *Sensores termos-resistivos (RTD).* También conocidos como termoresistencias, son dispositivos mucho más exactos que los termopares debido a que estos se deben tomar datos en la unión donde los metales tienen contacto con el proceso y además en el otro extremo por los que se trabajan con tolerancias de error y más aún cuando se realizan extensiones en los cables. Los RTD no presentan ninguno de estos problemas si se utilizan los de 3 y 4 hilos.

Los RTD, miden el flujo de los electrones que atraviesan por un hilo conductor muy fino enrollado entre capaz de material aislante y recubierto en vidrio o cerámica, el cual tiene un conocido coeficiente de temperatura de resistencia, el cual, en función del material expresa una medida de temperatura específica y varía este valor de resistencia dada en Ohms en función a cada grado de temperatura. Por lo tanto los RTD, envían señales análogas de intensidad entre (4 -20) mA.

El material aislante sirve para privar a la señal que atraviesa por los hilos de varias interferencias como: vibraciones, temperaturas cercanas, campos magnéticos, entre otros; de tal modo que la señal llegue al módulo RTD totalmente pura para su posterior tratamiento en el autómata programable y obtener las temperaturas reales del proceso de pasteurización.

Los materiales más usados en la fabricación de estos dispositivos son platino, cobre y níquel, siendo este último el más utilizado para la industria alimenticia, química y farmacéutica debido a sus propiedades inoxidables, cada uno presenta cierta variación en su comportamiento frente a la temperatura que esté expuesta, la precisión es la característica más importante cuando se utilizan estos dispositivos, los RTD de platino cumplen perfectamente con esta condición pero su costo de igual forma es superior.

Figura 11. Curvas del factor de resistencia de un RTD en función de la temperatura



Fuente: Electrónica Industrial Moderna Maloney 5a Ed.

Estas curvas responden a la siguiente expresión matemática lineal:

$$R(t) = R_0(1 + \alpha \Delta t) \quad (1)$$

Donde:

$R(t)$ = Resistencia a los t °F

R_0 = Resistencia a los 0 °F

α = Coeficiente de temperatura de la resistencia

Tabla 1. Características de las termoresistencias

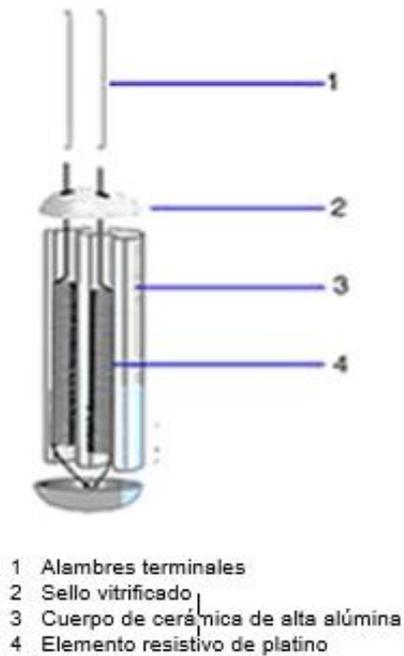
Metal	Resistividad [$\mu\Omega/cm$]	α	Rango útil temp. [°C]	Diámetro del hilo	Precisión	Costo relativo	Resistencia 0 °C
Platino	9,83	0,00392	-200 a 950	0,05	0.01	Alto	25-100-130
Níquel	6,38	0,0063 - 0,0066	-150 a 300	---	0.50	Medio	100
Cobre	1,56	0,00425	-200 a 120	---	0.10	Bajo	10

Fuente: Autores.

Los RTD que se utilizan en el proceso de pasteurización son de tipo:

- Cilíndricas

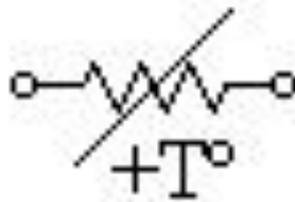
Figura 12. Esquemático de RTD cilíndrica



Fuente: <http://www.dhacel.com.ar/heraeus.htm>

El símbolo comúnmente utilizado para este dispositivo es el siguiente:

Figura 13. Símbolo de un termo-resistor (RTD)

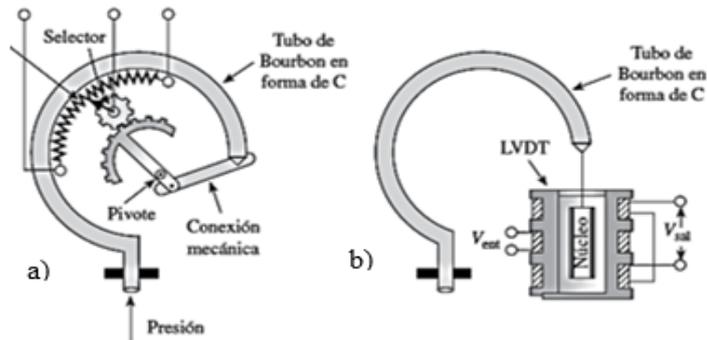


Fuente: Autores

2.9.1.2 Sensores de presión. La presión es la segunda variable física con mayor importancia dentro de los procesos industriales.

La medición de la misma se la realiza a través de un elemento mecánico y este desplazamiento que produce este se lo convierte en señales eléctricas a través de transformadores diferenciales variables (LVDT) o potenciómetros comunes.

Figura 14. Sensores de presión



Fuente: Electrónica Industrial Moderna Maloney 5a Ed.

En la figura 14 (a), tenemos un tubo de bourdón en forma de C, al cual se le adapta un potenciómetro, el cual varía el valor de la resistencia en función de la deformación que presente el tubo.

En la figura 14 (b), se tiene un LVDT conectado a un tubo de bourdón en forma de C, este dispositivo consiste en un paquete hueco encapsulado, contiene dos bobinas las cuales generen un f.e.m cuando el núcleo magnético se desplaza dentro de éste. La presión se le define como la fuerza que se aplica sobre una superficie. Su unidad de medida según el S.I es el Pascal (Pa), aunque no es raro también verlo expresado en atmósferas (atm), milímetros de mercurio (mmHg), bar (bar), Libras por pulgada cuadrada (PSI) o kilogramos por centímetro cuadrado.

La presión se la puede expresar en términos diferenciales o absolutos, se habla de presión absoluta cuando se la mide con relación al cero absoluto de presión. Como valores diferenciales tenemos la presión atmosférica, la cual ejerce la atmósfera terrestre, su valor es 1 atm o $1,0133 \times 10^5$ Pa. Además tenemos la presión relativa, la cual no es más que la diferencia de las dos presiones anteriores respectivamente. La presión diferencial propiamente dicha es el resultado de la diferencia entre dos presiones dadas. Finalmente también hablamos de una presión de vacío, la cual resulta de la diferencia de la presión atmosférica en el punto de medición y la presión absoluta.

Para la medición de esta variable existen varios elementos mecánicos como tubo Bourdón, elementos elásticos (fuelle, diafragma) y electromecánicos, estos últimos serán nuestro foco de estudio, por su principio de funcionamiento tenemos resistivos, magnéticos, capacitivos, extensométricos y piezoeléctricos.

2.10 Transmisión de señales

Una vez que el dispositivo sensor hay medido la variable física requerida, este envía la señal de la medición hacia un receptor, el cual puede ser un indicador, contador, registrador, controlador o un conjunto de estos. Por eso es necesario asegurarse que la señal enviada por el sensor llegue al receptor.

Las transmisiones de señal se pueden realizar por diferentes métodos, entre los cuales tenemos:

- Neumáticos
- Digitales
- Telemétricos
- Hidráulicos
- Eléctricos

Antiguamente la más común era la transmisión de señales neumáticas, este consiste en generar una señal variable entre 0,2 – 1 bar (3-15 PSI), lo cual es proporcional a una escala de 0-100% de la variable medida. Estos valores están normalizados por la Asociación de Fabricantes de Instrumentos (Scientific Apparatus Makers Association) por sus siglas en inglés.

Las señales digitales trabajan con códigos binarios, es decir, con 1 y 0, los mismos que indican el paso o no de la señal respectivamente. Estos códigos son enviados de manera de impulsos en forma de bits, cada bit está compuesto por dos signos (0 y 1). Normalmente los microprocesadores trabajan transmisores de 8 bits, en el mercado actual podemos encontrar de 16 y 32 bits.

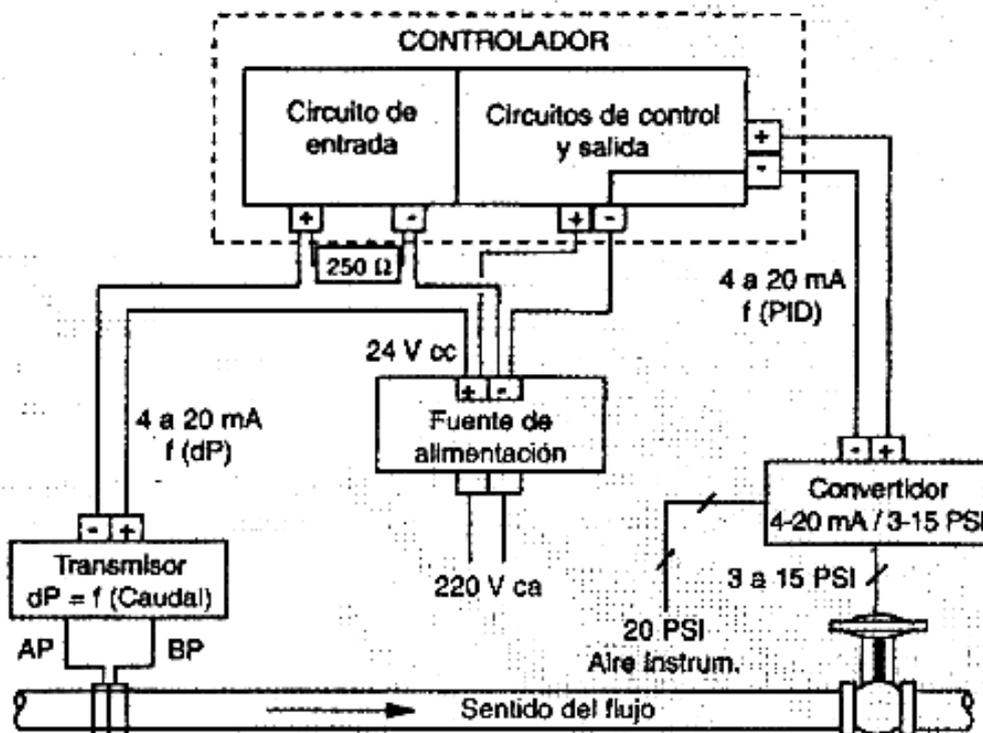
Las señales hidráulicas son poco utilizadas y están presentes en aplicaciones en donde se desea manejar grandes potencias con el mínimo de esfuerzo. Las señales telemétricas son empleadas cuando la distancia entre el receptor y el transmisor son de varios cientos de kilómetros, la telemetría comúnmente usa comunicación inalámbrica, anteriormente se utilizaba cableado pero la respuesta de la señal era baja, así como su recepción. La transmisión de señal más utilizada actualmente es la eléctrica, están generan señales

normalizadas de intensidad 4–20 mA corriente directa, estas llegar hasta 1 km de distancia dependiendo del instrumento transmisor que se use. Este método al trabajar con corriente continua y no alterna, elimina cualquier presencia de corrientes parásitas y ruidos, así mismo solo emplean dos conductores o hilos.

Las señales enviadas pueden ser de carácter todo/nada o analógicos, todavía podemos encontrar en ciertas industrias transmisores que envíen señales a diferentes valores como 0,5 mA CD, 1-5 mA CD, 10-50 mA CD, 0-10 VCD, 1-5 VCD; que eran fácilmente utilizados antes que se normalice el rango 4-20 mA corriente directa. Al desconectar los circuitos a transistores se generan corrientes residuales que es considerado como un problema en la transmisión de señales, para evitar esto se seleccionó un valor mínimo de 4 mA, estas señales son generalmente energizadas con una fuente de 24 voltios de corriente continua.

El conexionado de un lazo típico de control y la transmisión de la señal es el siguiente:

Figura 15. Esquemático de un conexionado de un lazo de control



Fuente: Control avanzado de procesos-José Acedo Sánchez

El comportamiento de cada uno de los elementos en este esquemático, en el cual la variable física a medir es caudal es el siguiente.

- Transmisor. Esta alimentada por 2 conductores a una A través de las diferencias de presión obtenidas calcula el caudal que pasa por la tubería y convierte esta medida en señales eléctricas entre (4-20) mA mediante resistencias variables, capacitores variables u otros para transferirlas al controlador.
- Controlador. El circuito de entrada del controlador realmente funciona con tensión variable, es por esto que se conecta una resistencia fija de 250 ohmios, para que en sus extremos se obtenga un diferencial de potencial entre (1-5) VCD que serán proporcionales a las señales de (4-20) mA, estos diferenciales de potencial son fácilmente comprobables mediante la ley de Ohm, $V= I \cdot R$. La razón por la cual se realiza esto es para evitar caídas de tensión por el conductor, de estar forma se genera tensión en los bornes de entrada del controlador.

$$4 \text{ mA} * 250 \Omega = 1000 \text{ mV} = 1 \text{ VCD (mín)}$$

$$20 \text{ mA} * 250 \Omega = 5000 \text{ mV} = 5 \text{ VCD (máx)}$$

- Convertidor. Este dispositivo recibe la señal enviada por el controlador (4-20) mA, y la convierte en otro tipo de señal dependiendo del actuador instalado, en la figura 2.9.7 podemos observar que el actuador instalado es una válvula proporcional, la cual recibe señal neumática desde el convertidor y la obliga a producir la apertura o cierre de la misma a cierta posición según sea la necesidad del proceso. (SÁNCHEZ, 2003)

CAPITULO III

3. CAPACIDAD INSTALADA DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN

3.1 Estado actual de los equipos

Es primordial denotar las condiciones en las cuales se encuentran los equipos actualmente para generar una idea clara del desempeño que presentan y lograr compararlos después de realizar cualquier tipo de modificación o mejora.

3.1.1 Caldero pirotubular. Para suplir la demanda de vapor que exige el sistema el caldero posee una capacidad de 15 BHP, genera una presión de 50 PSI, el combustible que utiliza es diésel, genera el vapor suficiente para el proceso de pasteurización y desinfección de equipos. Dentro del caldero la temperatura es incrementada gracias al quemador que funciona a diésel, la cual la alimenta una bomba de desplazamiento positivo, la flama además se controla a través de una fotocelda, el agua es tratada antes de ingresar al caldero mediante un ablandador, para así evitar incrustaciones y reducir la dureza del agua.

Figura 16. Caldero pirotubular



Fuente: Autores.

3.1.2 *Tanque de recepción.* Es un recipiente de acero inoxidable con una capacidad de 3000 litros, es un silo horizontal, inicialmente aquí se almacenaba la leche para proceder a su debida pasteurización, además cuenta con un motor agitador eléctrico, una válvula de aireación y una toma de muestra, sin embargo actualmente no es utilizado.

Figura 17. Tanque de recepción



Fuente: Autores

3.1.3 *Banco de condensadores.* Este es usado para mejorar el factor de potencia debido al tipo de alimentación de los equipos y al exceso de retornos en el voltaje hacia la red, trabaja una frecuencia de 60 Hz, presenta una conexión DELTA y es trifásico.

Figura 18. Banco de condensadores



Fuente: Autores

3.1.4 *Banco de Hielos.* Este se utiliza para el enfriamiento del agua para el choque térmico de la leche, utiliza un motor monofásico de 7,5 HP el voltaje de alimentación es de 220 VAC, la serie del equipo es GRM3 040000-PFV, aquí el agua es enfriada a 2 °C para poder ser pasteurizada.

Figura 18. Banco de hielos



Fuente: Autores

3.1.5 *Pasteurizadora.* Básicamente es un intercambiador de calor, está hecho de acero inoxidable dentro de este se realiza el choque térmico que permite eliminar los agentes patógenos.

El proceso se realiza mediante placas verticales dispuestas en el interior de la estructura que se asemeja a un radiador, cuenta con un tablero de mando y potencia además de un regulador neumático, el voltaje de alimentación de las bombas que alimentan de fluidos a este equipo es de 220 VAC, cuenta con un límite mínimo de 472 litros y un máximo de 548 litros de producción por minuto, dentro de este se cuenta con una parte fría y una parte caliente.

Los límites fueron especificados por el fabricante sin embargo la longitud que debe existir entre placas es la necesaria para que el proceso sea óptimo, normalmente la leche debe ingresar a 80 °C y salir a 4-6 °C, como se ha explicado anteriormente este equipo realiza la función de eliminar microorganismos presentes en la leche cruda a través de un cambio brusco de temperatura conocido como acción o choque térmico.

Figura 19. Pasteurizadora



Fuente: Autores.

3.1.6 *Compresor de aire.* Este equipo dota de aire comprimido al sistema para los dispositivos que lo necesitan como la válvula de desvío, cuenta con un motor eléctrico de 1 HP con conexiones para 110 VAC, modelo VS-40 1103.

Figura 20. Compresor de aire



Fuente: Autores.

3.1.7 Homogeneizador. El homogeneizador cuenta con un sistema de 3 pistones operados a través de un motor eléctrico de 220 VAC, estos pistones son enfriados por agua, pesa 250 kg, su capacidad es de 1200 l/h, su presión de trabajo es de 13 MPa y su potencia es de 6,7 kW.

Este equipo se encarga de disminuir la dimensión de las moléculas de grasa de la leche para evitar la formación de nata sobre la misma.

Figura 21. Homogeneizador



Fuente: Autores

3.1.8 Descremadora centrífuga. La descremadora centrífuga se encarga de eliminar y estandarizar las moléculas de grasa de la leche, es decir al nivel de grasa permisible según los requerimientos, gracias a este equipo se puede obtener lo que se conoce en el medio como: leche entera, leche semi-descremada y leche descremada, siendo los límites de grasa tanto inferior como superior a 3% y 1% de grasa respectivamente.

Gracias a este equipo se puede filtrar las impurezas que lograron pasar al proceso, una de las características importantes este equipo es que realiza su función cuando la leche posee una temperatura superior a la del ambiente, el motor que permite el funcionamiento de esta descremadora gira a 1800 rpm y su motor es alimentado a 220 VAC.

Este equipo es especial debido a que trabaja con leche en caliente.

Figura 22. Descremadora centrífuga



Fuente: Autores.

3.1.9 *Tanque de almacenamiento.* Este tanque vertical es de acero inoxidable su función es almacenar la leche pasteurizada y conservarla hasta un máximo de 48 horas a una temperatura de 4 °C, cuenta además con un motor-bomba para poder sacar la leche para ser envasada este motor funciona a 220 VCA, su capacidad es de 2000 litros.

Figura 24 Tanque de almacenamiento



Fuente: Autores

3.2 Evaluación del estado inicial de los equipos

Los equipos que conforman el sistema de pasteurización dentro de la planta experimental se presentan a continuación disponiéndolos según sus especificaciones, su función, su capacidad, etc. Los mismos que se someterán a un diagnóstico de su estado técnico con el fin de conocer la fase en la cual estos se encuentran cumpliendo su función principal.

Para llegar a denotar la calificación se juzgó: funcionamiento, estado interno y externo; dentro de los mencionados se observará si existe presencia de óxido, depósitos de impurezas, pérdida de material, estado de juntas, estado de empaques, etc. De la suma de lo antes mencionado en la tabla siguiente se especifica el estado técnico de los equipos según una escala de cuatro opciones: deficiente, regular, bueno y excelente, entendiéndose a deficiente como límite inferior y a excelente como límite superior, esta se asemeja a la conocida escala de Likert.

Tabla 2. Estado técnico de los equipos

Equipos	Estado técnico			
	Deficiente	Regular	Bueno	Excelente
Caldero pirotubular			x	
Banco de condensadores			x	
Tanque de recepción		x		
Olla y bomba de producto			x	
Calderín		x		
Intercambiador de calor			x	
Banco de hielos			x	
Descremadora centrífuga			x	
Compresor de aire		x		
Homogeneizador			x	
Tanque de almacenamiento			x	
Tablero de control		x		

Fuente: Autores

3.3 Propuesta de optimización para el proceso de pasteurización

La automatización tiene como ventaja importante la reducción de tiempos debido a la autonomía que ésta presenta, lo cual es posible traducir a reducción de costos de producción, por lo tanto para este proyecto la automatización del control de sus equipos

representa una oportunidad de optimización.

Mediante un estudio de las fases dentro del proceso de pasteurización, el cual presenta cierta complejidad al momento de buscar alguna etapa para modificarla y mejorarla, sin embargo se ha encontrado una opción que se describe continuación como propuesta de optimización:

- Modificación del tiempo de activación y desactivación de la válvula de desvío.

En la situación actual de los equipos explicada anteriormente, la válvula de desvío es un elemento electroneumático, la misma que permite el calentamiento del sistema. Se pudo notar que antes de realizar la pasteurización de la leche se realiza un enjuague inicial de los equipos, para esto el agua debe alcanzar una temperatura de 70 °C (temperatura de baja).

La válvula de desvío juega un papel fundamental para alcanzar dicha temperatura, puesto que la activación y desactivación de la misma permite alcanzarla en mayor o menor tiempo, entendiéndose que al alcanzarlo se logrará alcanzar un objetivo siendo este la optimización.

3.3.1 *Diagramas de Proceso.* Este tipo de diagrama permite analizar las actividades y tiempos necesarios en la elaboración de un bien o prestación de un servicio. En estos diagramas no se muestran los equipos dispuestos, sino las etapas del proceso y las tareas dentro de las mismas

Estos diagramas dentro de un proceso productivo permiten estudiar las operaciones que en este se realicen para obtener una mayor productividad, mejor distribución de equipos o puesto de trabajo, así como también resolver problemas potenciales haciendo al proceso más eficiente.

Para este proyecto la aplicación de esta herramienta permitirá identificar cual es el punto en el cual se podrá aplicar directamente la automatización a fin de lograr optimizarla, teniendo como objetivo la reducción del tiempo de producción total del proceso de pasteurización y su posterior lavado.

Tabla 3. Diagrama de proceso

Diagrama de proceso anterior				
Método anterior ■		Elaborado por: Autores		
Método propuesto □		Fecha: 2016-03-10		
Sujeto de diagrama: Proceso de pasteurización de la leche		Hoja: 1/1		
Departamento: Producción Planta de Lácteos				
Cantidad: 200 litros de leche				
Distancia [m]	Tiempo [min]	No.	Símbolos	Descripción del proceso
3	9	1	→	Recepción de la leche
18	3	2	→	Transporte de la leche al tanque balance
--	11	3	→	Evacuación de agua de la tubería
--	12	4	→	Reposición de agua evacuada
--	--	5	O	Inicio del proceso de calentamiento
--	56	5	→	Finalización del proceso de calentamiento (70 °C)
--	11	6	→	Desvío del agua al tanque de almacenamiento
--	12	7	→	Reposición del agua enviada al tanque de almacenamiento
--	2	8	→	Enfriado de la temperatura de baja a (5-6) °C
--	11	9	→	Desvío del agua al tanque de almacenamiento
--	--	10	O	Cernido de la leche
--	--	10	→	Colocación de la leche en el tanque balance
--	--	11	O	Pasteurizar
--	7	11	▼	Desvío de la leche pasteurizada al tanque de almacenamiento
Diagrama de proceso propuesto				
3	9	1	→	Recepción de la leche
18	3	2	→	Transporte de la leche al tanque balance
--	11	3	→	Evacuación de agua de la tubería
--	12	4	→	Reposición de agua evacuada

Tabla 3. (Continuación)

--	--	5	O	Inicio del proceso de calentamiento
--	40	5	→	Finalización del proceso de calentamiento (70 °C)
--	11	6	→	Desvío del agua al tanque de almacenamiento
--	12	7	→	Reposición del agua enviada al tanque de almacenamiento
--	2	8	→	Enfriado de la temperatura de baja a (5-6) °C
--	11	9	→	Desvío del agua al tanque de almacenamiento
--	--	10	O	Cernido de la leche
--	--	10	→	Colocación de la leche en el tanque balance
--	--	11	O	Pasteurizar
--	7	11	▼	Desvío de la leche pasteurizada al tanque de almacenamiento

Fuente: Autores

Tabla 4. Resultados obtenidos

Actividad	Método anterior	Método propuesto	Diferencia
→ Operaciones	10	10	0
o Esperas	3	3	0
▼ Almacenamiento	1	1	0
Actividades del proceso	11	11	0
Distancia recorrida (m)	21	21	0
Tiempo de Realización (min)	143	127	16

Fuente: Autores

El personal operativo de la planta utiliza la siguiente combinación manual para la activación y desactivación de la válvula de desvío durante el proceso de calentamiento previo a la pasteurización de la leche cruda:

- 5 minutos desactivada, 1 minuto activada

Esta combinación no es estrictamente ejecutada debido a que se lo hace sin ningún control del tiempo, es decir, el personal por ocuparse de otras actividades modifica esta combinación, lo que da como consecuencia que el sistema alcance los 70 °C en un tiempo

promedio aproximado de 50 a 56 minutos, en ciertos casos este tiempo puede ser superior e incluso no alcanzar con la temperatura requerida.

Este tiempo de calentamiento del sistema y las demás actividades del proceso que se realizan en la planta, al pasteurizar 200 litros de leche suman alrededor de 140 minutos hasta la culminación del mismo, es decir hasta que la leche llegue al tanque de almacenamiento, este tiempo extra de actividades mencionadas varía dependiendo de la cantidad de leche a pasteurizar y el control que se le dé por parte del personal al momento de producir.

El proceso de calentamiento es una etapa obligatoria para el pasteurizado de la leche y el lavado de los equipos, puesto que enjuaga las tuberías y partes de los diversos equipos que componen el sistema de pasteurización.

Para lograr determinar la condición de tiempos más óptima, se ha realizado un análisis experimental, en el cual, se somete a la válvula de desvío a funcionar con diferentes combinaciones de tiempos de activación y desactivación hasta alcanzar la temperatura deseada, estas combinaciones se basaron en la combinación existente y en otras presentes en textos referentes a procesos de pasteurización o tratado de leche.

Dentro de las combinaciones el tiempo de desactivación de la válvula no puede ser menor a 3 minutos debido a que si el tiempo es menor al rango mencionado el calentamiento será mínimo, de igual forma el tiempo de activación de la válvula tampoco puede superar el 1 minuto con 30 segundos caso contrario toda la temperatura incrementada comenzará a disiparse en el sistema, determinado estos límites en las combinaciones se procedió a estipular las combinaciones experimentales más adecuadas.

Estas combinaciones serán las siguientes:

- Tres minutos desactivada - Un minuto activada.
- Tres minutos desactivada - Un minuto 30 segundos activada.
- Cuatro minutos desactivada - Un minuto activada.
- Cuatro minutos desactivada - Un minuto 30 segundos activada.
- Cinco minutos desactivada - Un minuto activada.

- Cinco minutos desactivada - Un minutos 30 segundos activada.

Cada una de las condiciones anteriores cuenta con una tabla de datos, una curva y una ecuación obtenida a partir de su linealización, la cual indica el tiempo que demora alcanzar la temperatura de 70 °C dentro del sistema.

De cualquiera de las condiciones numeradas anteriormente se determinará la más óptima, es decir, la que permita alcanzar esta temperatura en menor tiempo y cumpliendo con las especificaciones dadas por el ingeniero a cargo de la planta y el proceso.

3.4 Método experimental

Las siguientes tablas presentan los valores de temperatura que se obtuvieron sistemáticamente según la activación y desactivación de la válvula de desvío, como tiempo inicial consta la hora exacta en que se empezó con el calentamiento del sistema, el mismo que comenzó con la desactivación de la válvula.

Todas las mediciones se realizaron con 200 litros de agua, a una temperatura inicial estimada entre los 13 °C – 15 °C, con una presión manométrica de 40 PSI y una temperatura ambiente de aproximadamente 20 °C. Dichos valores son considerados como variables dentro del proceso, pero para el estudio a realizar serán asignadas como constantes, con el fin de obtener un resultado más certero.

Este método experimental se lo realizará de manera cronométrica y manual, esto es previa a la instalación del autómeta en el proceso; se realizará un estimado de 3 mediciones por combinación y de estas se representará en este trabajo netamente una media de estas, contando así con valores reales del proceso previo a la instalación del autómeta.

Este método experimental determinará la mejor combinación de tiempos para activación y desactivación de la válvula de desvío y así denotarla a esta como la óptima, además de las respectivas ecuaciones que se obtengan de cada gráfica.

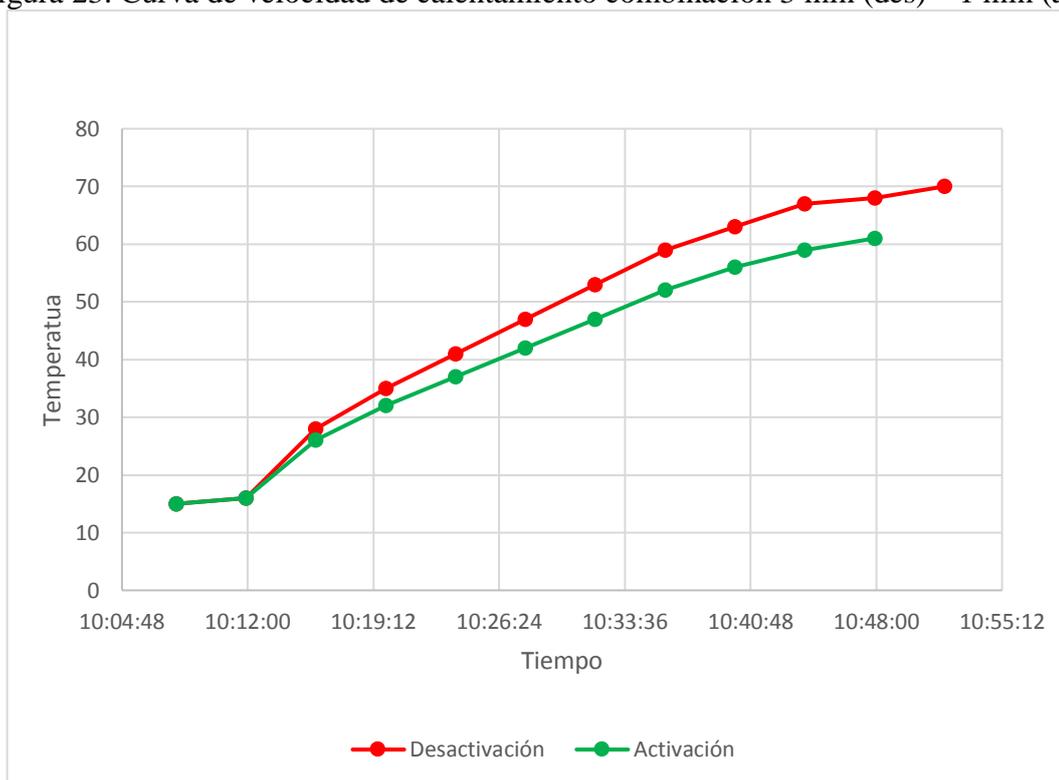
Tabla 5. Combinación 3 min (des) – 1 min (act)

Desactivación y activación de la válvula de desvío				
N°	Desactivación	[°C]	Activación	[°C]

1	10:07:54	15	10:10:54	15
2	10:11:54	16	10:14:54	16
3	10:15:54	28	10:18:54	26
4	10:19:54	35	10:22:54	32
5	10:23:54	41	10:26:54	37
6	10:27:54	47	10:30:54	42
7	10:31:54	53	10:34:54	47
8	10:35:54	59	10:38:54	52
9	10:39:54	63	10:42:54	56
10	10:43:54	67	10:46:54	59
11	10:47:54	68	10:50:54	61
12	10:51:54	70		
Tiempo total			0:44:00	

Fuente: Autores

Figura 23. Curva de velocidad de calentamiento combinación 3 min (des) – 1 min (act)



Fuente: Autores

Las siguientes ecuaciones, son obtenidas mediante la linealización de su respectiva curva a través de un método gráfico una para mejor comprensión del mismo.

Cada punto indica la temperatura que se tenía al momento exacto de la activación y desactivación. Ecuación resultante de la condición 3min-1min:

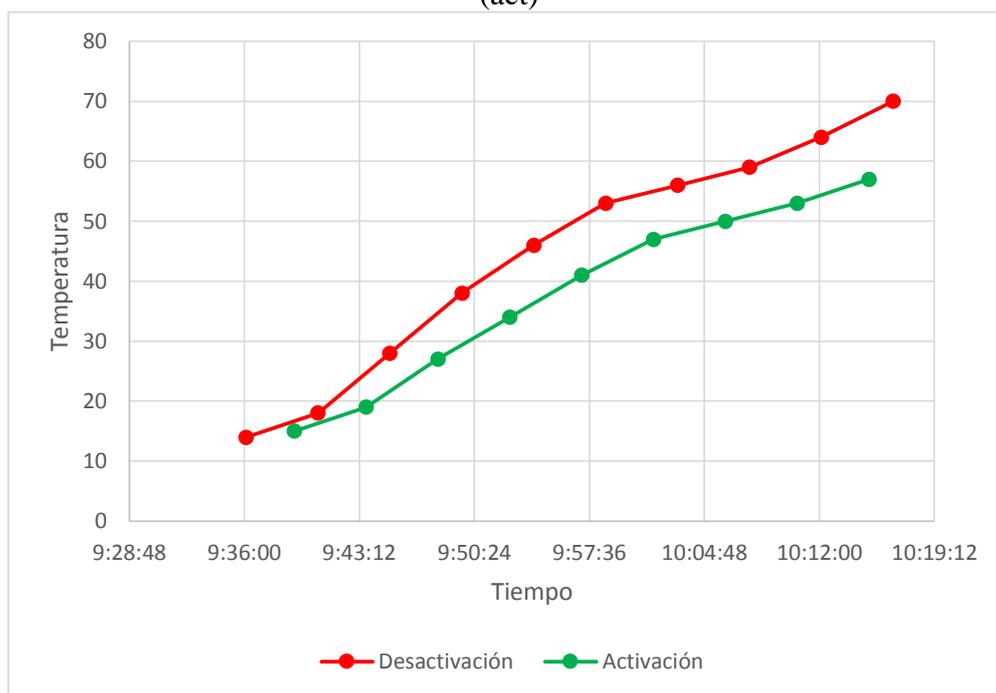
$$y = 1773,8x - 733,2$$

Tabla 6. Combinación 3 min (des)– 1 min y 30 s (act)

Desactivación y activación de la válvula de desvío				
N°	Desactivación	[°C]	Activación	[°C]
1	9:36:07	14	9:39:07	15
2	9:40:37	18	9:43:37	19
3	9:45:07	28	9:48:07	27
4	9:49:37	38	9:52:37	34
5	9:54:07	46	9:57:07	41
6	9:58:37	53	10:01:37	47
7	10:03:07	56	10:06:07	50
8	10:07:37	59	10:10:37	53
9	10:12:07	64	10:15:07	57
10	10:16:37	70		
Tiempo total:		0:40:30		

Fuente: Autores

Figura 24. Curva de velocidad de calentamiento combinación 3 min (des)-1 min30 s (act)



Fuente: Autores

Ecuación resultante de la condición 3 min-1 min y 30 s:

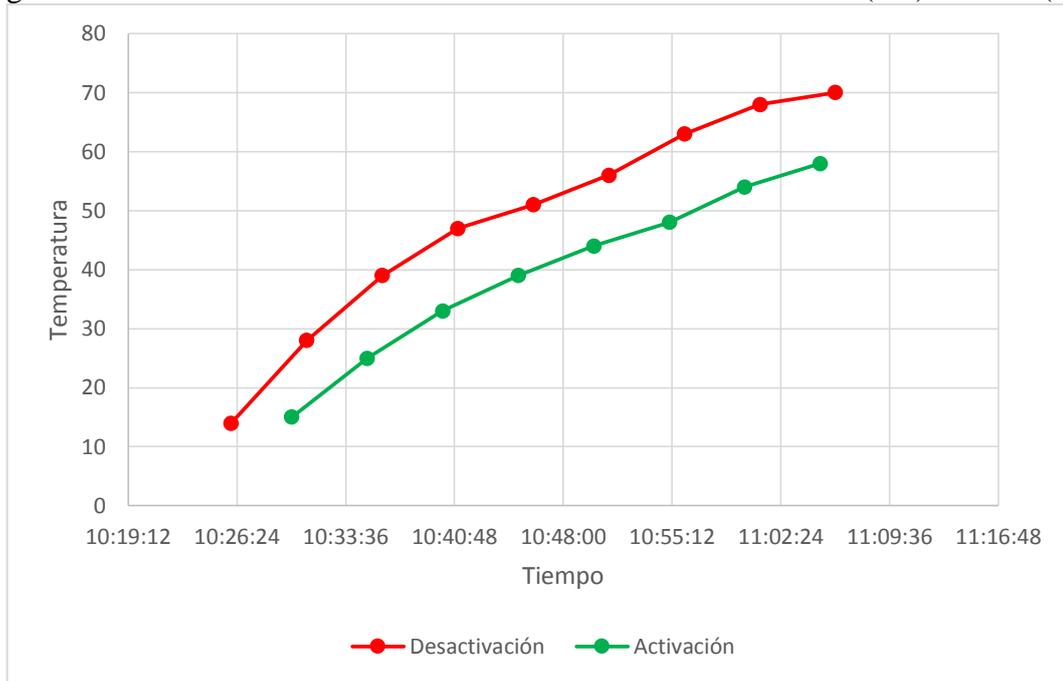
$$y = 1754,7x - 689,5$$

Tabla 7. Combinación 4 min (des) – 1 min (act)

Desactivación y activación de la válvula de desvío				
N°	Desactivación	[°C]	Activación	[°C]
1	10:26:01	14	10:30:01	15
2	10:31:01	28	10:35:01	25
3	10:36:01	39	10:40:01	33
4	10:41:01	47	10:45:01	39
5	10:46:01	51	10:50:01	44
6	10:51:01	56	10:55:01	48
7	10:56:01	63	11:00:01	54
8	11:01:01	68	11:05:01	58
9	11:06:01	70	11:10:01	
Tiempo total:		0:40:00		

Fuente: Autores

Figura 25. Curva de velocidad de calentamiento combinación 4 min (des) – 1 min (act)



Fuente: Autores

Ecuación resultante de la condición 4 min-1 min:

$$y = 1700,6x - 725,2$$

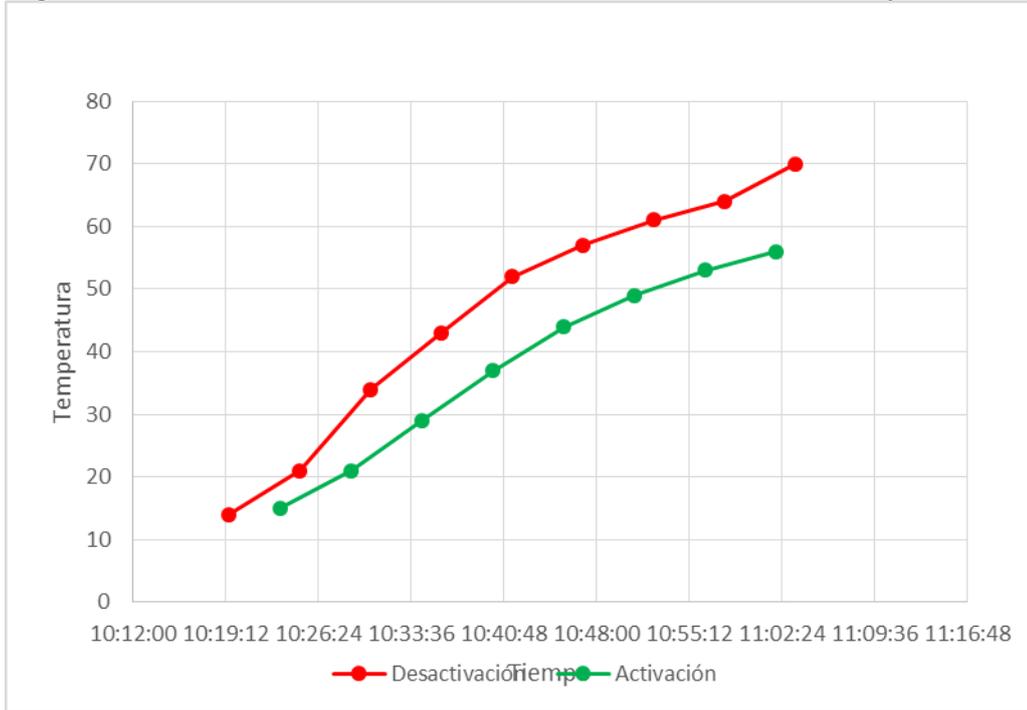
Tabla 8. Combinación 4 min (des)– 1 min y 30 s (act)

Desactivación y activación de la válvula de desvío				
Nº	Desactivación	[°C]	Activación	[°C]
1	10:19:30	14	10:23:30	15
2	10:25:00	21	10:29:00	21
3	10:30:30	34	10:34:30	29
4	10:36:00	43	10:40:00	37
5	10:41:30	52	10:45:30	44
6	10:47:00	57	10:51:00	49
7	10:52:30	61	10:56:30	53
8	10:58:00	64	11:02:00	56
9	11:03:30	70	11:07:30	
Tiempo total:		0:44:00		

Fuente: Autores

Se debe tener en cuenta que la reducción de tiempo de calentamiento del sistema se hace evidencia con el incremento en rango del tiempo de desactivación de la válvula de desvío.

Figura 28. Curva de velocidad de calentamiento 4 min (des)– 1 min y 30 s (act)



Fuente: Autores

Ecuación resultante de la condición 4 min-1 min y 30 s:

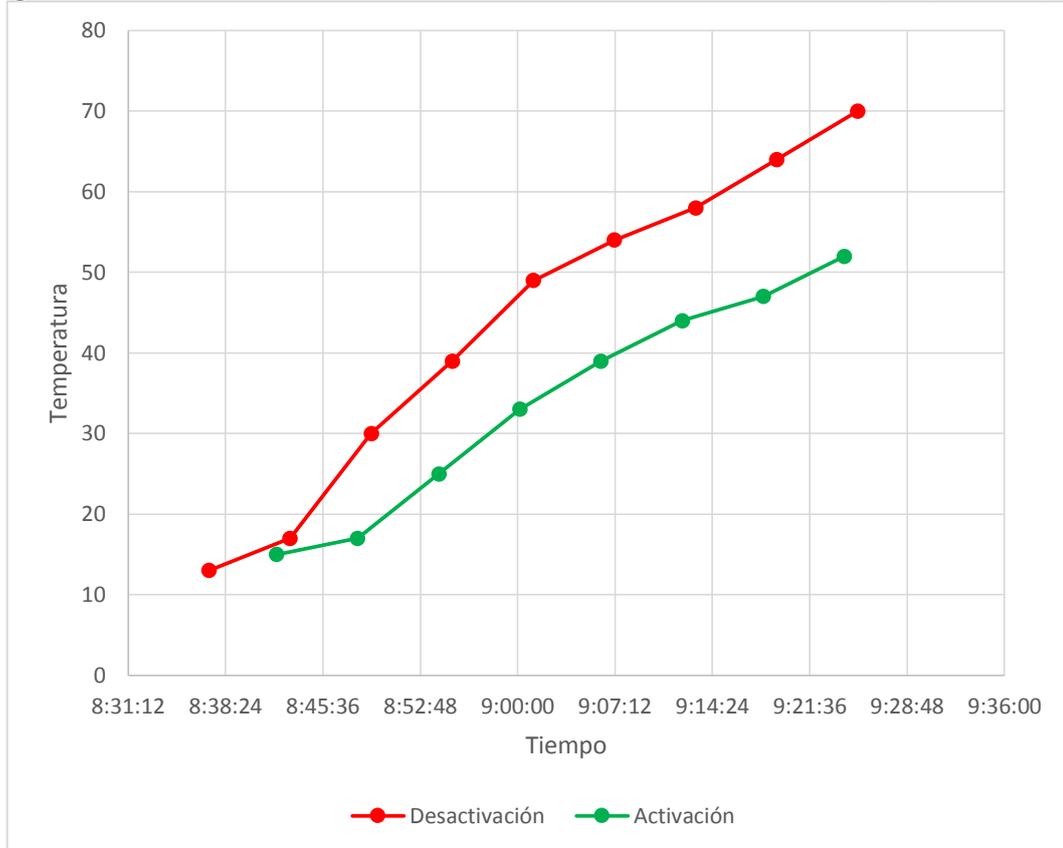
$$y = 1602,1x - 677,1$$

Tabla 9. Combinación 5 m (des)-1 m (act)

Desactivación y activación de la válvula de desvío				
N°	Desactivación	[°C]	Activación	[°C]
1	8:37:10	13	8:42:10	15
2	8:43:10	17	8:48:10	17
3	8:49:10	30	8:54:10	25
4	8:55:10	39	9:00:10	33
5	9:01:10	49	9:06:10	39
6	9:07:10	54	9:12:10	44
7	9:13:10	58	9:18:10	47
8	9:19:10	64	9:24:10	52
9	9:25:10	70	9:30:10	
Tiempo total:		0:48:00		

Fuente: Autores

Figura 26. Curva de velocidad de calentamiento Combinación 5 min (des)-1 min (act)



Fuente: Autores

Ecuación resultante de la condición 4 min-1 min y 30 s:

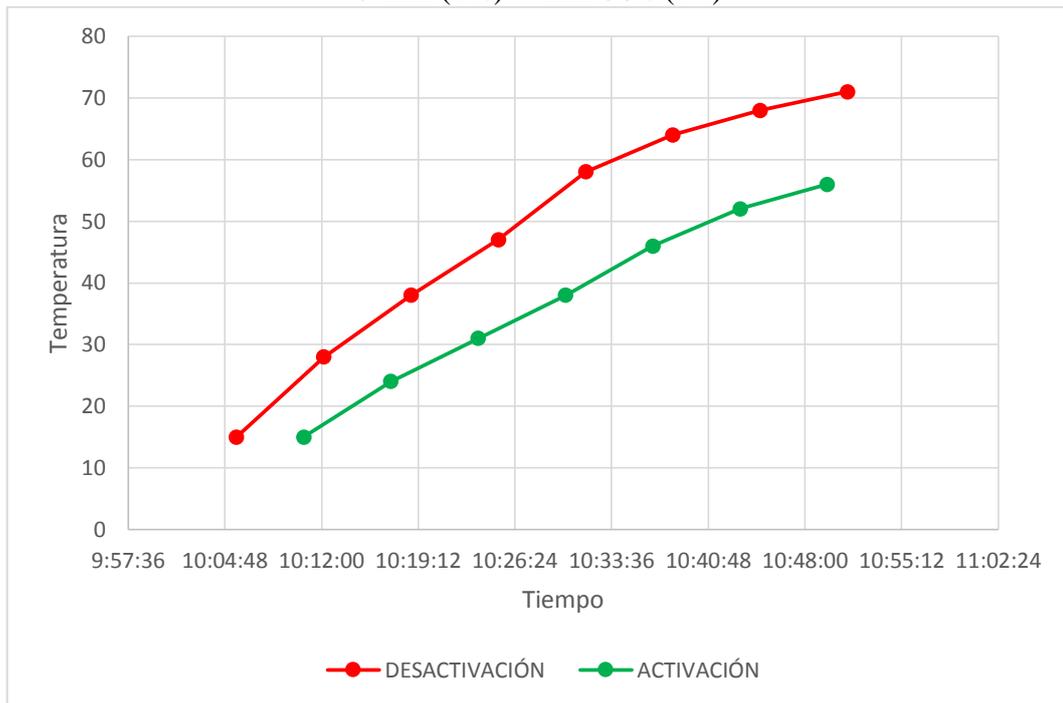
$$y = 1348,6x - 474,7$$

Tabla 10. Combinación 5 min (des) – 1 min 30 s (act)

Desactivación y activación de la válvula de desvío				
N°	Desactivación	[°C]	Activación	[°C]
1	10:05:40	15	10:10:40	15
2	10:12:10	28	10:17:10	24
3	10:18:40	38	10:23:40	31
4	10:25:10	47	10:30:10	38
5	10:31:40	58	10:36:40	46
6	10:38:10	64	10:43:10	52
7	10:44:40	68	10:49:40	56
8	10:51:10	71	10:56:10	
Tiempo total:		0:45:30		

Fuente: Autores

Figura 27. Curva de velocidad de calentamiento combinación
5 min (des)–1 min 30 s (act)



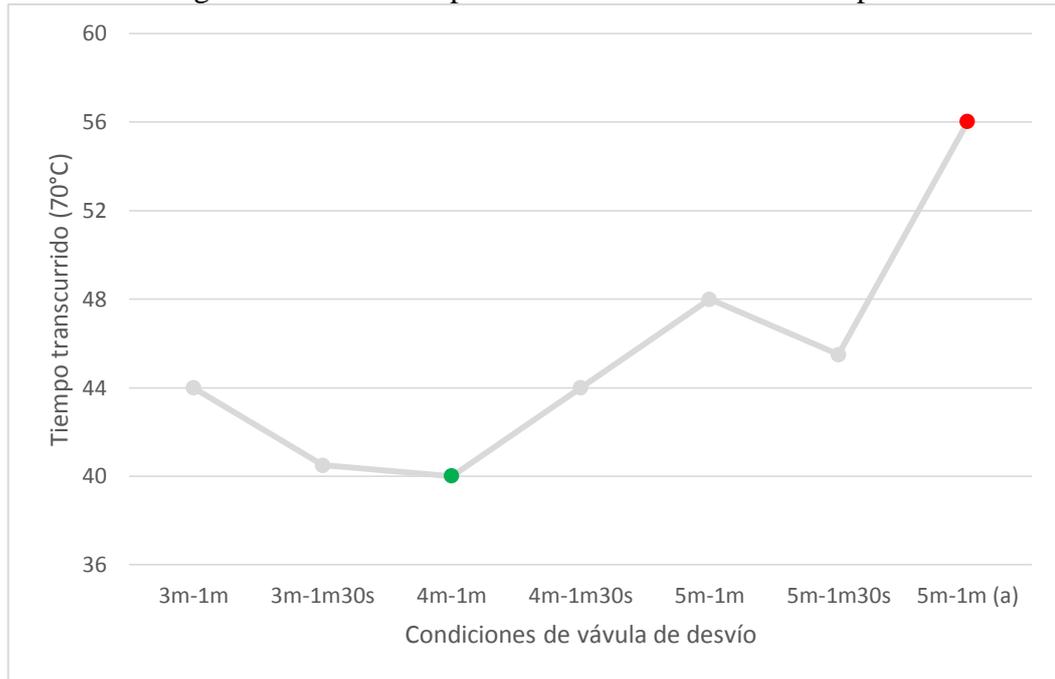
Fuente: Autores

Ecuación resultante de la condición 4 min-1 min y 30 s:

$$y = 1534,9x - 634,3$$

En esta última combinación se alcanzó los 70°C en menos cantidad de activaciones sin embargo como el rango de desactivación era mayor se denota un tiempo aparentemente

Figura 28. Curva comparativa de condiciones de tiempos



Fuente: Autores

En la gráfica se puede diferenciar claramente las condiciones de activación y desactivación de la válvula de desvío y el tiempo que tarda el sistema en alcanzar los 70 °C con cada una de ellas. Se encuentran resaltados dos de estos, el de la parte inferior que representa la combinación que tardó menos tiempo, y el de la parte superior que indica lo contrario, este último es la condición realizada actualmente por los operarios de la planta.

Después del análisis de la gráfica se ha determinado que la condición óptima de funcionamiento para la válvula de desvío es de 4 min-1 min, desactivación y activación respectivamente, teniendo una reducción del tiempo de producción de 16 minutos aproximadamente.

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

Como resultado de la evaluación de los equipos efectuado en el anterior capítulo, se determinó que el sistema de control cumple con las condiciones de funcionamiento, mas no es el óptimo. Así mismo el sistema de monitoreo es casi obsoleto tecnológicamente hablando ya que éste no registra ningún comportamiento del proceso y su control se limita a presionar botones tanto para iniciar como para detener el mismo.

Por estos motivos es necesaria la realización de una mejora tecnológica, la cual deberá cumplir con las condiciones adecuadas para cada proceso, deberá también efectuar el registro del mismo y sobre todo optimizar recursos, entre estos, tiempo de producción, consumo de combustible y el consumo energético del proceso de pasteurizado.

A continuación se detallará los equipos y materiales a utilizar en el desarrollo del presente proyecto, así mismo como su dimensionamiento y el diseño de instalación adecuado, con la finalidad de dar un conocimiento global de las actividades que se ejecutarán, así como el costo final del mismo y por lo tanto se obtendrá también una base de datos sobre los elementos y equipos presentes en la ejecución del trabajo.

4.1 Componentes requeridos

Para contar con las respectivas mejoras para el proceso será necesario analizar los requerimientos óptimos para el caso. Es decir los materiales, implementos, dispositivos, etc. Entre los principales componentes requeridos tenemos:

4.1.1 *Elemento de control.* El sistema exige funcionalidad, reacción inmediata y robustez; este elemento debe adquirir y procesar datos para posteriormente realizar las respectivas acciones pertinentes, sin contar con el monitoreo y control. Debido a las entradas y salidas de datos del proceso el elemento de control debe ser un PLC (Controlador Lógico Programable).

En este proceso el controlador debe adquirir señales de temperatura de ingreso y salida

del producto en el intercambiador, otra proveniente del banco de hielos y la última recibida desde la salida de la bomba de agua caliente lo que da un total de 4 señales de entrada.

Además contar con salidas de tipo discreto para la activación de la válvula de desvío, bomba de agua caliente, bomba de producto, bomba del banco de hielos y el compresor, dando un total de 5 salidas.

El controlador debe cumplir con ciertas características mínimas como: 4 entradas de tipo análogo y 5 salidas de tipo digital, su voltaje de alimentación debe ser de 24 VCD/110 VAC/220 VAC además debe tener comunicación vía ethernet para monitoreo de estas señales, soportar expansiones para módulos que realicen controles PID.

4.1.2 *Elemento de monitoreo.* Existen varios valores que se deben visualizar cuando el proceso se encuentra activo y más aún si éstos requieren de un control estricto.

Tal es el caso de las temperaturas de entrada y salida del producto, es decir los valores a los cuales se está pasteurizando la leche en el intercambiador, debido a que si las temperaturas no se encuentran dentro de los rangos determinados, los patógenos seguirían de formando parte de este y el proceso no cumpliría su función principal.

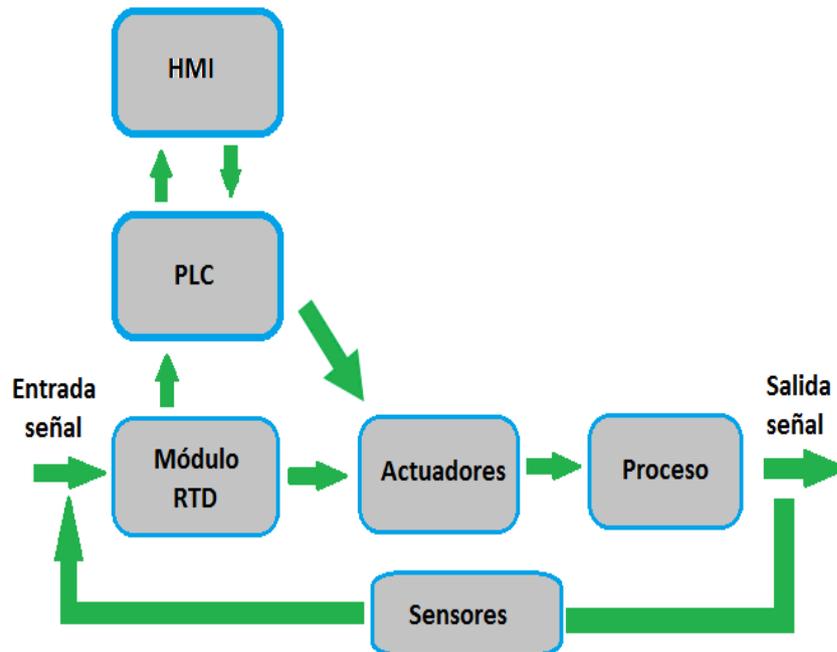
Así también este elemento permitirá la visualización de otras variables que están presentes durante el pasteurizado.

Para este caso el monitoreo se lo realizará a través de un interfaz hombre máquina (HMI), con capacidad de comunicación vía Ethernet como requerimiento básico.

4.1.3 *Diagrama de bloques del hardware del proceso.* Un diagrama de bloques es una representación descriptiva del funcionamiento de un sistema internamente, aquí se definen las entradas y salidas; esta es una herramienta que permite indicar de qué manera se elabora un producto que en este caso es la leche pasteurizada. Los elementos requeridos

más los instalados conformarán el proceso de automatización, la siguiente figura detalla la manera adecuada del funcionamiento del lazo cerrado con el cual contará el sistema.

Figura 29. Diagrama de bloques del hardware



Fuente: Autores.

Donde:

HMI= Esta es la interfaz humano máquina, es decir la pantalla SYMATIC, en la cual se podrá configurar, visualizar y controlar ciertas variables del sistema.

PLC= Es el Controlador Lógico Programable que está dentro del proceso.

Actuadores= Esto representa a los elementos de control que estarán en el proceso como una electroválvula.

Sensores= Estos son elementos que permiten medir una variable física, la cual convierte la dicha señal receptada en una señal eléctrica para lograrla interpretar a través del controlador lógico programable y poder tomar cualquier tipo de acción reactiva por medio de actuadores dentro del proceso.

4.1.4 *Diagrama de bloques del PLC.* En el siguiente diagrama de bloques se representara las entradas analógicas y salidas digitales que se ingresarán y saldrán, al y

del controlador, a través de un módulo RTD y actuadores respectivamente, en este caso pertenecientes a temperatura y presión.

Figura 30. Diagrama de entradas al PLC

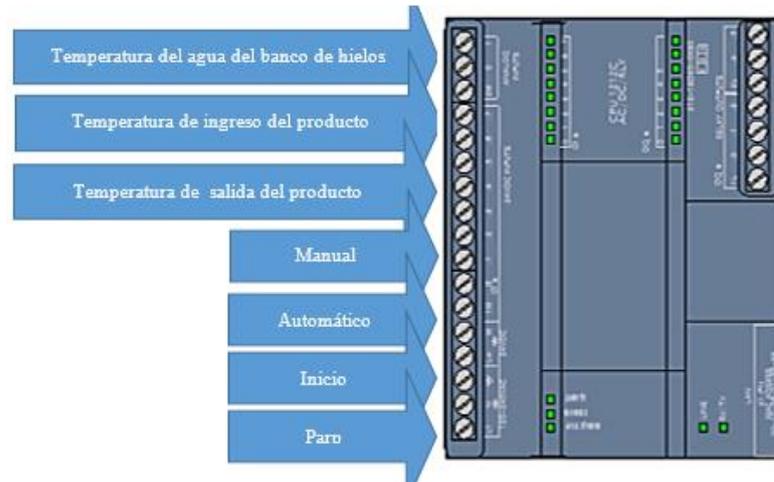


Figura 34. Diagrama de salidas del PLC



Fuente: Autores.

En la figura 33, especifica las entradas de tipo analógico y digital que el sistema tendrá presente, mientras que en la figura 34, indica las salidas de tipo digital.

4.1.5 Diagrama de comunicación. Un diagrama de comunicación es una versión simplificada de un diagrama de colaboración en UML; que sirven para destacar los

vínculos existentes entre los diversos componentes que forman parte de un sistema. En estos diagramas se distinguen tres puntos básicos:

- Receptor
- Línea de comunicación
- Receptor

Debido a la heterogeneidad de las señales presentes en este proceso será necesario una línea de comunicación que las maneje y normalice al momento de su emisión, transmisión y recepción de la respectiva información.

4.1.5.1 Comunicación vía ethernet. Las redes industriales anteriormente usaban los buses de campo debido a la simplificación y versatilidad que presentaban estos para la transmisión de datos, el objetivo de esta era sustituir las conexiones entre los equipos de control y los elementos campo; ya que son redes digitales y bidireccionales.

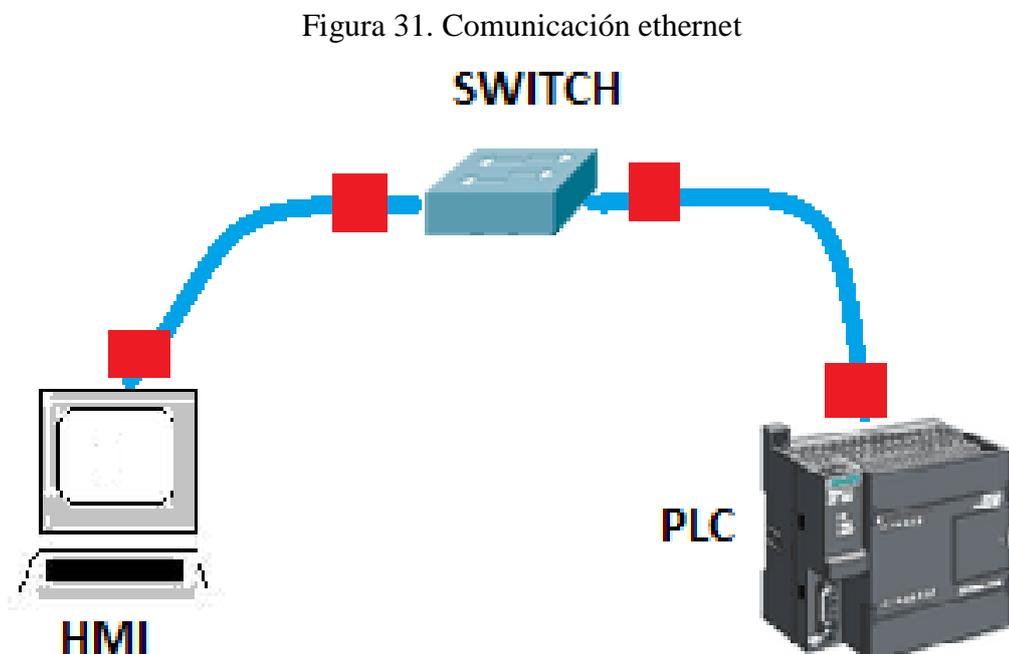
Sin embargo el uso de este tipo de transmisión de datos representa un elevado costo global debido a la instrumentación necesaria, por ello se considera el uso de la comunicación vía ethernet.

El uso de ethernet en el campo industrial facilita la comunicación entre islas automatizadas, aumenta el rendimiento y las posibilidades de control de las mismas, además de las facilidades antes mencionadas este medio incorpora la robustez, durabilidad, costos reducidos, velocidad, integración con internet/intranet y fiabilidad.

- *Robustez:* Permite a los dispositivos continuar conectados a pesar de las condiciones de trabajo en las que se encuentre, sea: polvo, humedad, etc.
- *Velocidad:* Se puede elegir según las necesidades entre fast ethernet (100 Mbps) o Giga ethernet (1/10 Gbits); a la primera se la conoce como tecnología de vanguardia, pero la segunda en la actualidad está suplantando varias aplicaciones de la anterior y se la considera además como tecnología del futuro. Como es lógico las respuestas en tiempo real son necesarias y la tecnología ethernet brinda dicha característica.

- *Costos reducidos:* La tecnología ethernet cuenta con el apoyo de la IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), y su valor en el mercado es más reducido que muchos otros medios de comunicación de datos.
- *Integración con internet/intranet:* Una red ethernet permite tener una comunicación universal desde el nivel de campo hasta el nivel de gestión; todas las redes de ethernet son compatibles con cualquier protocolo de comunicación para transferencia y administración de datos, el protocolo más utilizado es el TCP/IP debido a sus cualidad de conexión a internet y a intranet, dejando a un lado las tecnologías de islas de control.
- *Fiabilidad:* Las redes ethernet son abiertas y transparentes su interoperabilidad es más sencilla permitiendo que los componentes que interactúan emitan y recepen sus datos con total seguridad.

La comunicación que se maneja entre un PLC y un HMI para este proyecto es vía Ethernet.

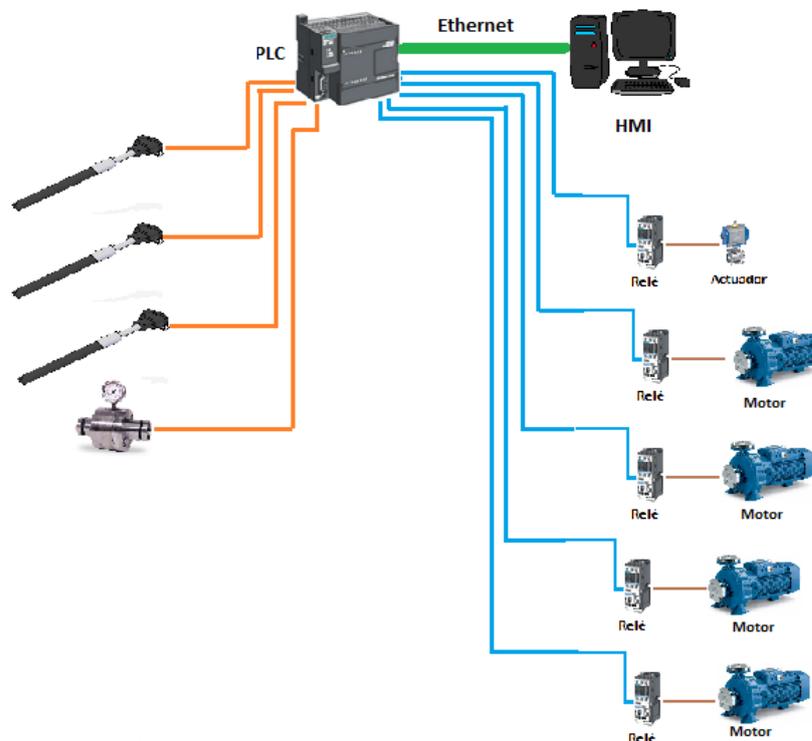


Fuente: Autores

4.1.5.2 Estructura propuesta. Para poder materializar las conexiones y demás instalaciones es necesario tener en cuenta los dispositivos, sensores y actuadores que componen el sistema.

Las señales que entrarán al PLC serán luego enviados al HMI por medio de la red Ethernet; así mismo desde la HMI se enviará hacia el PLC comandos por medio del ethernet o con un relé de intermediario para activar, desactivar cualquier equipo según el caso lo amerite.

Figura 32. Diagrama de comunicación



Fuente: Autores

4.1.5.3 Medio físico. Para conectar los diferentes dispositivos de red se utilizará un cable ethernet, cable UTP o cable de red, este es el más usado para este tipo de comunicación, este cable permite enlazar: ordenadores, HMI, switches, entre otros dispositivos.

Los PLC también pueden conectarse a la red siempre y cuando posean el módulo y conector adecuado, para este caso se usará el cable ethernet más común el cual es conocido como cable cruzado, o cable UTP es de categoría 5, el cual dispone de 4 pares de hilos, es para una velocidad de 10/100 Mb y viene protegido por una malla metálica

esta lo resguarda de interferencias de campos magnéticos o cualquier otro tipo de señal que cause ruido en la señal transmitida.

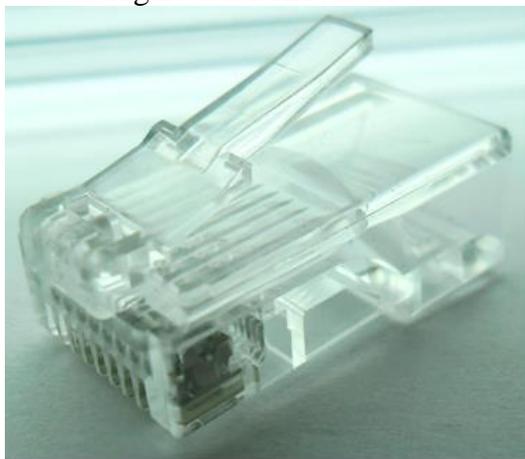
Figura 33. Cable ethernet



Fuente: ld-data.blogspot.com/2013/09/how-to-connect-to-your-dvr-over-internet.html

Los terminales del cable Ethernet posee 4 pares de hilos que adjuntándose a un conector RJ45 de 8 pines logran la comunicación de los datos.

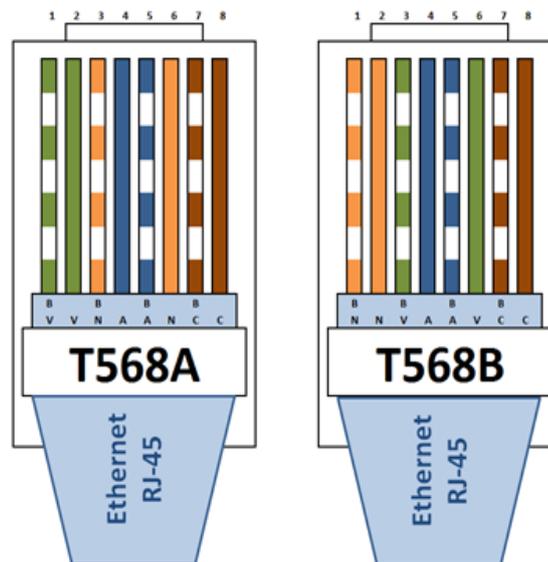
Figura 34. Conector RJ45



Fuente: resethn.wordpress.com/category/tecnologia/computacion/redes-de-datos/

Los estándares T568A y T568B son básicamente normas de conexión de estos cables y poseen una gama de colores que son: blanco-naranja, naranja, blanco-verde, verde, blanco azul, azul, blanco-marrón y marrón. Este cable sin duda es el más usado en el medio debido a su accesibilidad y fácil instalación, pero a altas velocidades puede resultar vulnerable a interferencias electromagnéticas del medio ambiente a lo que se conoce usualmente como ruido. Se recomienda utilizar con cable apantallado.

Figura 35. Estándares T568A y T568B



Fuente: resethn.wordpress.com/category/tecnologia/computacion/redes-de-datos/

4.2 Estructuración del proyecto

Para la optimización del proceso de pasteurizado de la leche a través de un controlador lógico programable, se instalará un nuevo tablero de control el cual contará con elementos necesarios para la automatización, control y protección necesaria para el proceso. El área de pasteurizado cuenta con los equipos a ser controlados y monitoreados cerca del tablero a excepción de la caldera y el banco de hielo, la instalación de sus sensores y la distancia para la transferencia de la señal no generará problemas de ruido o distorsión en la misma.

Los equipos a utilizarse en la automatización del proceso serán de la marca Siemens, la cual fue elegida por su buena reputación en el mercado, precios accesibles y otra de sus ventajas es que presenta un interfaz muy amigable con el usuario. En el capítulo anterior de forma general se analizó los dispositivos y elementos necesarios para la ejecución del proyecto, de la misma manera en esta etapa se los detallará poniendo énfasis en sus características técnicas, además se realizará el dimensionamiento de los elementos de maniobra, conductores, indicadores luminosos, entre otros para su posterior adquisición, garantizando el cumplimiento de su función adecuadamente sin problema alguno.

En la tabla 12 se encuentran los equipos de la marca previamente escogida, necesarios para el cumplimiento del proyecto, así como también los valores de cada uno.

Tabla 11. Equipos para la automatización marca Siemens

N ^o	Descripción	Cantidad	Valor unitario [USD]	Valor Final [USD]
1	CPU 1214C AC/DC/relé S71200	1	695	695
2	KTP400B BASIC panel color 4"	1	685	685
3	Módulo análogo 4AI/2AO S71200	1	565	565
Total				1945

Fuente: Autores

4.3 Dimensionamiento de componentes

Dentro de los componentes a dimensionarse se encuentran los dispositivos de maniobra, conductores eléctricos, elementos de protección eléctrica y cualquier otro componente que requiera un previo dimensionamiento para su uso.

Para comenzar a dimensionar los componentes, se realizará de manera lógica, es decir comenzando con fuentes de alimentación y terminando en los actuadores.

4.3.1 Dimensionamiento de la fuente para sensores. En la tabla 12 se puede apreciar que ya existe una fuente de tensión que ha sido solicitada para el proyecto sin antes haber sido dimensionada, esto se debe a que dicho componente es dimensionado por los mismos fabricantes del PLC, y es el encargado de energizar al CPU y sus módulos.

Los sensores de temperatura y presión también deben ser energizados, como el número de sensores a utilizarse es considerable, no se recomienda conectarlos a la misma fuente ya que la demanda de corriente aumentaría y podría provocar problemas en la misma. Por esta razón se sugiere que una nueva fuente sea la responsable de energizar los transmisores y para ello es necesario su dimensionamiento. Para saber las características que debe cumplir una fuente de alimentación, es necesario primero conocer las condiciones a las que va a estar expuesta, es decir, la tensión de suministro, el total de dispositivos a alimentar, el tipo de tensión a los que estos trabajan, y sobre todo su consumo de corriente. Una vez resueltas estas interrogantes se podrá seleccionar una fuente adecuada para el proceso. Se recomienda escoger un modelo sobredimensionado como protección y como ventaja en caso de que se requiera alimentar otros dispositivos de forma emergente o temporal. Con esta explicación se procederá al dimensionado de la fuente de alimentación necesaria para los sensores de temperatura para el sistema de

pasteurización, siguiendo estos pasos:

- *Tensión de suministro a la fuente.* Los equipos dispuestos en el proceso de pasteurizado de leche funcionan con una tensión de 220 VCA, además se podría realizar el arreglo para obtener 110 VCA, por lo que la fuente puede ser energizada con tensiones de 110-220 VCA.
- *Dispositivos a alimentar.* A la fuente se conectarán únicamente elementos sensores de temperatura, los mismos que trabajan con una tensión de 24 VCD, el total de sensores a conectarse a la fuente son 3.
- *Consumo de corriente de los dispositivos.* Los sensores de temperatura, según los datos del fabricante sus potencias nominales son 0,3 W, aplicando la Ec. 2 podemos determinar la corriente nominal consumida por cada sensor este dato servirá para la correcta selección de la fuente de poder más adecuada.

$$P = E * IN \quad (2)$$

Donde:

P: Potencia nominal [W]

E: Tensión de alimentación [V]

IN: Corriente nominal consumida [A]

Cálculo - sensores de temperatura:

$$0,3 W = 24 V * I_{N1}$$

$$I_{N1} = \frac{0,3 W}{24 V}$$

$$I_{N1} = 0,0125 A$$

Si se utilizan 3 sensores, entonces su consumo total es:

$$I_{N1} = 0,0125 A * 4$$

$$I_{N1} = 0,05 A$$

El consumo de corriente que deberá soportar la fuente de alimentación será:

$$I_{T1} = I_{N1}$$

$$I_{T1} = 0,05 A$$

Como se mencionó anteriormente se debe sobredimensionar este valor, por lo que se le tomará una medida de protección del 20%.

$$I = I_{T1} * 1,20$$

$$I = 0,05 * 1,20$$

$$I = 0,06 A$$

Aplicando la Ec. 2 se puede calcular la potencia total del sistema, conocer este valor ayudará también en la selección de la fuente de alimentación:

$$P = E * I$$

$$P = 24 V * 0,06 A$$

$$P = 1,44 W$$

Con estos valores obtenidos, ahora se puede dimensionar la fuente de alimentación necesaria para los transmisores y sensores, la cual debe cumplir con las siguientes características mínimas permisibles para el adecuado funcionamiento de los dispositivos que a esta se conecten:

- Tensión de entrada 110 VCA - 220 VCA
- Tensión de salida 24 VCC
- Potencia mínima de la fuente 1,5 W
- Corriente mínima de salida 0,06 A

4.3.2 Dimensionamiento de conductores eléctricos. En las instalaciones eléctricas los conductores son parte esencial del mismo, debido a que por estos fluye la corriente desde un punto hasta otro, permitiendo la alimentación eléctrica de equipos, dispositivos, y demás componentes que necesiten de energía eléctrica para cumplir su función.

Dimensionar o determinar los calibres de conductores es un factor fundamental al realizar instalaciones eléctricas, de este cálculo depende que los equipos funcionen correctamente y no se perjudique la vida útil de los mismos, un bajo dimensionamiento de los conductores aumenta la posibilidad de riesgos para el personal y los equipos, por otro lado su sobredimensionamiento produce gastos innecesarios de instalación. Estos motivos son suficientes para considerar el dimensionado de los conductores como una etapa crítica en la ingeniería de proyectos eléctricos. Para comenzar con el dimensionado de conductores es necesario primero estimar el tipo de recubrimiento de los conductores en base a las condiciones de temperatura que estarán expuestos.

En la tabla 13 se muestra los diferentes tipos de material aislante para conductores, este material aislante servirá para evitar la interferencia del medio ambiente con el conductor, además brinda un nivel de seguridad eléctrica requerido por los operadores, para evitar posibles y probables cortocircuitos, sobrecargas, electrocuciones y otro tipo de riesgo eléctrico.

Tabla 12. Tipos de recubrimiento en conductores eléctricos

Temperatura máxima en conductores eléctricos			
60 °C	75 °C	80 °C	90 °C
Tipo			
T	RHW	TW	RHH
	THW		
Material Aislante			
T	Termoplástico		
TW	Termoplástico resistente a humedad		
THW	Termoplástico resistente a humedad y calor		
RH	Hule resistente a calor		
RHH	Hule resistente a calor		
RHW	Hule resistente a calor y humedad		

Fuente: Autores.

De la tabla 13, el tipo de recubrimiento más óptimo para este proyecto es el TW, escogido en base a las condiciones que presenta el espacio al cual estará expuesto.

Los primeros conductores a determinar su calibre serán los que llegan al gabinete para energizarlo. Este gabinete contiene al controlador lógico programable con sus accesorios y demás componentes eléctricos.

Primero se deberá determinar la potencia consumida total del tablero, con la finalidad de conocer la intensidad de corriente transportada por los conductores.

Después de que ésta sea calculada, se determinará la sección transversal necesaria del conductor a través de la Ec. 6, finalmente con este valor de nos dirigimos a la tabla 15 para escoger un calibre AWG (*American Wire Gauge*) adecuado de la forma anteriormente mencionada.

Las fórmulas a utilizarse son las siguientes:

$$P = I * E \quad (3)$$

$$U = I * R \quad (4)$$

$$R = \rho * \frac{L}{S} \quad (5)$$

Donde:

P = Potencia [W]

I = Intensidad de corriente [A]

E = Tensión nominal [V]

U = Caída de tensión generada por la resistencia del conductor [V]

R = Resistencia ejercida por el conductor [Ω]

L = Longitud del conductor [m]

NOTA: L= L cuando se trabaja con VCC, L=2L cuando se trabaja con VCA.

S = Sección transversal del conductor [mm^2]

ρ = Constante de resistividad, depende del material (Cobre = $0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

El valor de la constante de resistividad se obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 13. Resistividad específica de conductores

Conductor	ρ a 20°C
Plata (Ag)	0,0159
Cobre (Cu)	0,0178
Aluminio (Al)	0,0280
Hierro (Fe)	0,0600
Plomo (Pb)	0,2100

Fuente: Autores

Las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas (NTIE), sugiere que para circuitos principales la caída de tensión no se debe ser mayor al 3% y para circuitos derivados 5%. Debido a que las instalaciones no ocupan grandes distancias, para el cálculo tomaremos el 3% para ambos tipos de circuitos, y este será el valor de U. Para determinar la sección transversal del conductor, reemplazaremos la Ec. (5) en la Ec. (4) y despejaremos S obteniendo una nueva ecuación.

$$S = \rho * \frac{L*I}{U} \quad (6)$$

Tabla 14. Calibre de conductores eléctricos AWG

A.W.G.	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	A.W.G.	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)
#1	7.348	42.41 mm ²	#21	9.723	0.410 mm ²
#2	6.544	33.63 mm ²	#22	0.644	0.326 mm ²
#3	5.827	26.67 mm ²	#23	0.573	0.258 mm ²
#4	5.189	21.15 mm ²	#24	0.511	0.205 mm ²
#5	4.621	16.77 mm ²	#25	0.455	0.162 mm ²
#6	4.115	13.30 mm ²	#26	0.405	0.129 mm ²
#7	3.665	10.55 mm ²	#27	0.361	0.102 mm ²
#8	3.264	8.366 mm ²	#28	0.321	0.081 mm ²
#9	2.906	6.634 mm ²	#29	0.286	0.064 mm ²
#10	2.588	5.261 mm ²	#30	0.255	0.051 mm ²
#11	2.305	4.172 mm ²	#31	0.227	0.040 mm ²
#12	2.053	3.309 mm ²	#32	0.202	0.032 mm ²
#13	1.828	2.624 mm ²	#33	0.180	0.025 mm ²
#14	1.628	2.081 mm ²	#34	0.160	0.020 mm ²
#15	1.450	1.650 mm ²	#35	0.143	0.016 mm ²
#16	1.291	1.309 mm ²	#36	0.127	0.013 mm ²
#17	1.150	1.038 mm ²	#37	0.113	0.010 mm ²
#18	1.024	0.823 mm ²	#38	0.101	0.008 mm ²
#19	0.912	0.653 mm ²	#39	0.090	0.006 mm ²
#20	0.812	0.518 mm ²	#40	0.080	0.005 mm ²

Fuente: <http://es.slideshare.net/leversonbeltran/caon-de-gauss>

Tabla 15. Componentes del tablero de control

Componente	Potencia consumida [W]
CPU 1214C AC/DC/RELE S71200	36
KTP400B BASIC PANEL COLOR 4"	9
Módulo análogo 8AI/2AO S71200	3
Relé para activación de cargas	1,4
Fuente alimentación sensores	1
Potencia total	50,4

Fuente: Autores

Estos dispositivos trabajan con 24 VCD, aplicando la Ec. (3) se determina la corriente nominal:

$$P = I * E$$

$$I = \frac{50,4}{24}$$

$$I = 2,1 A$$

Teniendo en cuenta que el tablero de control a construirse y la fuente de alimentación se encuentran prácticamente en el mismo conjunto, tomaremos como seguridad 1 m de distancia, aplicando la Ec. (6):

$$S = \rho * \frac{L * I}{U}$$

$$S = \frac{0,0178 * (1 * 2,1)}{24 * 0,003}$$

$$S = 0,519 \text{ mm}^2$$

De la tabla 15, obtenemos el calibre de conductor adecuado para la interconexión de los dispositivos anteriormente enlistados. Cuando no coincida el valor calculado con uno de la tabla se recomienda escoger el inmediato superior, en este caso el valor calculado supera despreciablemente al valor de la tabla anteriormente mencionada, la sección transversal óptima para el conductor es 0,518 mm².

Calibre de conductor para conexionado del PLC y sus dispositivos:

Cable TW AWG #20

Ahora se dimensionará el calibre de conductor necesario para alimentar el tablero de control, la distancia entre el tablero y la fuente de tensión monofásica es 4 m, el voltaje nominal de esta fuente tensión es 120 VCA, así mismo el consumo de corriente nominal de la fuente del controlador lógico programable es 2,5 A.

Por lo tanto aplicando la Ec. 6 determinamos la sección transversal del conductor:

$$S = \rho * \frac{L * I}{U}$$

$$S = \frac{0,0178 * (2 * 4)(2,5)}{120 * 0,003}$$

$$S = 0,988 \text{ mm}^2$$

El calibre de conductor adecuado según la tabla 15, es TW AWG #17, pero el fabricante sugiere que la alimentación de la fuente se realice con un calibre AWG #14, por este motivo será este último el escogido.

Calibre de conductor para alimentación del tablero de control:

Cable TW AWG #14

De la misma manera se deberá dimensionar los calibres de los conductores para la conexión de los transmisores de temperatura.

Los sensores de temperatura consumen una corriente nominal de 0,0125 A cada uno, estos transmisores se encuentran a 3 m de distancia del tablero, por lo tanto la ecuación para el cálculo de la corriente será la siguiente:

$$S = \rho * \frac{L * I}{U}$$

$$S = \frac{0,0178 * (3)(0,0125)}{24 * 0,003}$$

$$S = 0,009 \text{ mm}^2$$

Es decir que el conductor adecuado para la conexión de los transmisores de temperatura es TW AWG #37, la utilización de este tipo de calibres es un poco complicado en cuanto a la manipulación, es susceptible a rupturas lo que complicaría al proceso. Por lo mismo se sugiere que el calibre a utilizar sea el siguiente:

Cable TW AWG #20 para transmisores de temperatura.

Tabla 16. Calibres de conductores finales seleccionados

Componente	Calibre de cable tipo TW AWG
PLC y sus dispositivos	# 20
Alimentación del tablero	# 14
Transmisores de temperatura	# 20

Fuente: Autores

4.3.3 Dimensionamiento del tablero de control. Para el dimensionamiento del tablero o también conocido como envolvente hay que tomar en cuenta que tipo de envolvente se adapta mejor a las condiciones del proceso. Normalmente se toman en cuenta tres características importantes que son:

4.3.3.1 Aspecto de la envolvente. Se refiere al acabado exterior del tablero, estos pueden ser:

- *Metálicos.* Construidos con chapas de acero soldadas, su montaje puede ser mural o en el piso.
- *Aislantes.* Son elaborados con un material de carácter aislante, generalmente de poliéster con fibra de vidrio, su montaje puede ser empotrados o superficial.
- *Cuadros de distribución.* Aquellos que alberguen elementos de distribución eléctrica doméstica o industrial, normalmente son tableros robustos.

- *Cuadros de automatismos.* Son los más comunes, dentro de estos se encuentran elementos de protección y maniobra necesarios para el funcionamiento de máquinas y equipos.
- *Armarios.* Su uso es característico del sector industrial, tienen tamaños considerables, su montaje es apoyado al piso.

4.3.3.2 Índice de protección (IP). Indica la capacidad del tablero para evitar ser contaminado por elementos sólidos extraños y líquidos, también se le conoce como el grado de protección contra polvo y agua. Esta codificación es parte de la Norma IEC.

Su codificación se representa de la siguiente forma:

IP XY

Donde:

IP= índice de protección

X= Valor entre 0-6, protección contra cuerpos extraños

Y= Valor entre 0-8, protección contra líquidos.

Mientras mayor el número mayor la protección del equipo.

A continuación se presenta la tabla con los valores IP, el significado de los mismos como también el entorno de aplicación.

Tabla 17. Índice de protección (IP)

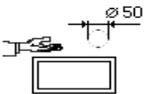
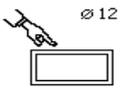
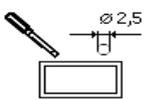
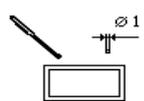
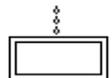
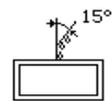
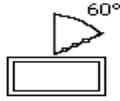
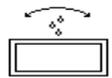
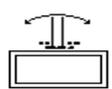
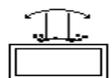
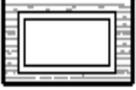
Protección de objetos sólidos y polvo – primer número IP			
IP 1#	Protección contra el acceso a partes peligrosas	Protección contra la intrusión de elementos externos	
0	Sin protección	Sin protección	
1	Contra grandes partes del cuerpo	Elemento externo grueso, diámetro > 50 mm	

Tabla 17. (Continuación)

2	Protección contra los dedos	Elemento externo >12.5 mm	
3	Herramientas y cables con un diámetro mayor de 2,5 mm	Elemento externo pequeño > 2.5 mm	
4	Herramientas y cables con un diámetro mayor de 1 mm	Elemento externo en forma de cono, diámetro > 1 mm	
5	Protección completa	Depósito de polvo	
6	Protección completa	Ingreso de polvo	
Protección del agua- segundo número IP			
IP #2	Detalles		
0	Sin protección		
1	Las gotas de agua que caen verticalmente		
2	Las gotas de agua que caen verticalmente inclinado hasta 15°		
3	Salpicar agua con inclinación hasta 60° respecto a la vertical		
4	Agua salpicada por todos los lados		
5	Chorro de agua		
6	Fuerte chorro de agua		
7	Inmersión temporal		

8	Inmersión continua	
---	--------------------	---

Fuente: Autores

4.3.3.3 Dimensiones del tablero. Este parámetro permite la facilidad del montaje de los componentes y posterior mantenimiento. No se puede realizar un montaje e instalación de un panel eléctrico sin un dimensionamiento previo, además de un estudio del lugar a ser ubicado, los dispositivos y elementos que va a contener y la cantidad cada uno de estos.

El tablero que se necesita para este proyecto es de tipo cuadro de automatismo, debido que éste contendrá elementos de control, mando, maniobra y protección para el correcto funcionamiento de los equipos y máquinas presentes en el proceso de pasteurizado, teniendo en cuenta también normas de seguridad.

Estos dispositivos estarán sujetos a mantenimiento, por lo que hace necesaria una puerta de tipo batiente que facilitará su acceso, la misma cuenta con una llave especial para que solo el personal autorizado puede manipularlo. El gabinete contará con señalización necesaria para prevenir posibles riesgos de electrocución.

El tablero se montará en el área de pasteurizado, por lo que no es necesario una protección alta contra polvo, además se realiza el lavado de esta área al finalizar el proceso de pasteurizado, por lo que el tablero irá colocado a cierta distancia del suelo para que la exposición a líquidos sea mínima.

Conocidas estas condiciones, el tablero necesario para este proyecto deberá tener un grado o índice de protección IP50 o superior.

Como podemos comprobar con el ANEXO A, las dimensiones adecuadas para el tablero o panel eléctrico será de 300 mm x 400 mm x 200 mm, medidas de ancho, alto y profundidad respectivamente, a una altura mínima de 1,5 m según la norma de instalación.

4.4 Descripción de los equipos

Ahora que se conocen los elementos que estarán montados dentro del tablero de control, a continuación se explicará cada uno de estos elementos eléctricos que permitirán la automatización y optimización del proceso de pasteurizado de leche de la planta de lácteos de la Estación Experimental TUNSHI – ESPOCH.

4.4.1 Controlador SIMATIC S7-1200 1214C AC/DC/RELÉ.

Figura 36. Controlador SIMATIC S7-1200 1214 AC/DC/RELÉ



Fuente: Autores

Este controlador lógico programable es uno de los últimos productos que la empresa Siemens ha puesto en el mercado, esto no quiere decir que sea el más potente controlador de todos, al contrario este equipo es un micro-PLC, utilizado para aplicaciones de baja y media potencia, para una mejor comprensión este equipo se le clasifica entre los conocidos S7-200 y S7-300 que son utilizados industrialmente.

Las ventajas que brinda este micro-PLC es que puede satisfacer innumerables aplicaciones industriales con mayor facilidad de programación permitiendo mayor flexibilidad en la automatización, tiene un diseño compacto, bajo costo, amplia variedad de instrucciones. El CPU está conformado por una fuente de alimentación integrada, un microprocesador y los comunes circuitos de entrada y salida que posee cualquier PLC.

Sus módulos de entradas y salidas le permiten trabajar con señales discretas, analógicas e incluso de movimiento.

4.4.2 *Siemens SM 1231 RTD – 6ES7231-5PF32-0XB0.* Estos módulos van montados a la derecha del CPU o PLC, permiten la entrada de señales digitales y analógicas, en este caso es necesario la utilización de un módulo SM RTD de 8 entradas analógicas enviadas por los transmisores de temperatura y de ser necesario en un futuro otros sensores, estas señales pueden ser de corriente (4-20 mA) o voltaje (0-10 VCD).

Figura 37. Módulo RTD de entradas analógicas x8AI



Fuente: Autores

Posee LED's de estado para las entradas y salidas, además permite la conexión de bus. Soporta mediciones con base a 2, 3 y 4 hilos de conexión al transmisor.

4.4.3 *Simatic HMI Basic Color KTP400*

Figura 38. Pantalla táctil SIMATIC HMI KTP400



Fuente: Autores

Es un dispositivo con pantalla táctil para control y supervisión de procesos. Tiene una protección IP65, una pantalla de 4" con 256 colores, además de una resolución de 320x240 y con 4 teclas táctiles. Se lo puede montar de manera vertical u horizontal, permite una conexión Profinet y es configurable desde un software de Siemens.

4.4.4 *Sensores de temperatura Pt-500.*

Figura 39. Sensores RTD de temperatura Pt-500



Fuente: Autores

Como se mencionó anteriormente se utilizarán 4 de estos elementos, sus rangos de medición de temperatura es de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, es un RTD de 3 hilos para una medición más precisa.

4.4.5 *Relé de 24 VCD Camsco.*

Figura 40. Relé de 24 VCD



Fuente: Autores

Es un dispositivo electromecánico, su funcionamiento consiste en un electroimán activado al energizar la bobina permitiendo el paso de corriente o interrupción del mismo hacia los diferentes circuitos, funciona como un interruptor, en este caso el voltaje de funcionamiento del relé será 24 VCD, el cual será proporcionado por las salidas del PLC.

4.4.6 *Fusible y base para fusible.* Componente eléctrico que será el encargado de energizar a todo los elementos internos del tablero y de proteger a los mismo en caso de sobrecargas y cortocircuitos que podrían perjudicar el funcionamiento y la vida de los

componentes eléctricos y los equipos aquí dispuestos. El fusible será de 1 A, el cual tendrá como función principal proteger al PLC.

Figura 41. Base para fusible y fusible



Fuente: Autores

4.5 Asignación E/S del PLC

Una vez definidos los dispositivos y componentes que intervendrán en el proceso de pasteurizado, se puede empezar con la asignación de entradas y salidas de estos con el PLC. El módulo RTD permite contar con entradas de tipo analógicas transmitidas desde los sensores, estos serían las entradas y como salidas solo tenemos de tipo digital o discretas para el encendido y apagado de las bombas. Estas asignaciones se encuentran detalladas en las tablas 4.12, 4.13, 4.14 teniendo respectivamente entradas analógicas, entradas digitales y salidas digitales respectivamente.

4.6 Listado de equipos, materiales e instrumentos

Uno requerimiento muy importante en la realización de cualquier proyecto es un inventario o listado de todos aquellos recursos necesarios para la ejecución del mismo. A través de este se puede realizar el control de lo que se ha utilizado, lo que se tiene en bodega y lo que falta, no contar con este listado trae consecuencias desfavorables en la

realización y puesta en marcha del proceso ya que se puede retrasar la entrega del proyecto por desconocimiento del avance del mismo y está demás decir que el tiempo en procesos industriales es sinónimo de dinero.

Los recursos necesarios para la realización de cualquier proyecto son tres: recurso económico o financiero, recursos materiales y talento humano. Con respecto a este último no hay mayor complicación debido a que los ejecutores del proyecto están capacitados en las tareas técnicas a realizar. Los recursos económicos se han detallado en puntos anteriores necesarios para cotizar el proyecto.

A continuación se muestra una tabla con los materiales y accesorios que serán parte de la automatización del proceso de pasteurizado.

Tabla 18. Listado de equipos, materiales e instrumentos

Descripción	Marca	Modelo	Cantidad	Unidad
Materiales				
Gabinete eléctrico IP55	---	30x40x20 cm	1	---
Tacos fisher S10	---	---	4	---
Riel DIN	---	35 mm x 15 mm	1	m
Bornera para riel DIN	Legrand	12-14-22 AWG	10	---
Canaleta ranurada	---	25 mm x 25 mm	2	m
Terminal tipo espada	---	AWG 22-26 aislado	100	---
Terminal tipo punta	---	AWG 22-26 aislado	100	---
Cable AWG #14	---	Aislamiento TW	10	m
Cable AWG #20	---	Aislamiento TW	20	m
Cable de ethernet	---	RJ-45/ apantallado	2	m
Equipos e instrumentos				
PLC (CPU)	Siemens	S71200 CPU 1214C AC/DC/RELE	1	---
Pantalla táctil	Siemens	KTP400B BASIC PANEL COLOR 4"	1	---
Módulo RTD	Siemens	S71200 MODULO ANALOGO 8AI/2AO	1	---
RELÉ	Camsco	110 - 220 VCA	6	---
Transmisores de temperatura		Pt-100 de 3 hilos	4	---
Fuente de alimentación para transmisores		24 VCD/1 A	1	---
Contactador	Camsco	32 A/10 HP/220 VAC	3	---
Base para fusible y fusible	Sassin	1 A/1 polo	1	---

Fuente: Autores

4.7 Proceso de automatización

Para comenzar con el desarrollo de la automatización del proceso de pasteurizado se debe seguir una metodología adecuada, la cual brinda facilidades al momento de programar.

Se sugiere el uso de dispositivos tanto de entrada como de salida, aclara posibles dudas al ejecutar instalaciones, determina cuellos de botella en el proceso y aumenta la probabilidad de detección de posibles fallos.

4.7.1 *Descripción del proceso.* Este paso es el más importante, si se lo realiza de manera adecuada obtendremos una excelente automatización.

Consiste en recopilar información de los operarios, personal de mantenimiento y todos aquellos que intervengan en el sistema de forma directa o indirecta.

Los objetivos de este paso es conocer las condiciones de funcionamiento del sistema como son: arranques y paros, dispositivos de medición y actuadores (motores, sensores, etc.) de forma general, conocer las variables a medir (presión, temperatura, tiempo, etc.), identificar cuáles de estas requieren control, monitoreo, registro y sobre todo sus rangos de funcionamiento.

4.7.2 *Diagrama de flujo del proceso.* Este paso sirve para dar un conocimiento más completo sobre las etapas que deben cumplirse en el proceso, las funciones de los diferentes equipos presentes, comprender de mejor manera el proceso y además de conocer elementos necesarios para su control.

El diagrama de flujo que realizaremos será exclusivo del proceso de pasteurizado debido a que es nuestro punto de enfoque, realizar uno general de la planta no ayudará en el desarrollo de la automatización.

4.7.3 *Descripción de los equipos que intervienen en el proceso.* Con el diagrama obtenido en el paso anterior, ahora se conocerán las funciones de los equipos. Se los enlistará, se definirá su función requerida por el proceso y se los asignará como entradas o salidas del sistema según sea el caso.

Con este paso ya tendremos todo lo necesario para empezar la programación.

4.7.4 Programación del PLC. De acuerdo con el documento tomado como referencia y por conocimiento propio se decidió iniciar la programación con el método formal o GRAFCET (Gráfica de funciones de Control de Etapas y Transiciones).

Una vez realizada la misma se obtendrán ecuaciones lógicas conocidas como ecuaciones de primer nivel, que pueden fácilmente convertirse en una programación de tipo escalera (ladder), posterior a eso se asignarán entradas y salidas al sistema con los datos obtenidos en el paso anterior y estas ecuaciones, finalmente se realizarán las ecuaciones de segundo nivel que no es más que copiar las ecuaciones anteriores pero con las entradas y salidas ya asignadas según estas correspondan. Estas últimas ecuaciones serán las que se ingresará en el software de programación del PLC en forma de ladder o tipo escalera.

A continuación se comenzará con el desarrollo según los pasos anteriormente detallados.

4.7.5 Descripción del proceso. Después de recabar con la información necesaria en las fuentes adecuadas en la planta de lácteos sobre el proceso y su funcionamiento se pudo recopilar la siguiente información:

Para iniciar el proceso de pasteurizado el ingeniero realizar un enjuagado de los equipos y tuberías, para ello primero enciende la descremadora centrífuga y el compresor de aire, realizar la apertura de la válvula de paso de vapor proveniente del caldero, dos minutos después con el tanque balance anegada de agua limpia se procede al encendido de las bombas de producto y de agua caliente, luego de un tiempo estimado de treinta segundos activa la válvula de desvío para que empiece a calentarse el sistema, por lo tanto cuando la temperatura de salida de producto alcance los 70 °C, se debe esperar un aproximado de diez minutos para que el agua caliente recircule por las tuberías del proceso, al concluir este tiempo el ingeniero abre una válvula de salida, la cual da paso para que esta agua deje de recircular y vaya hacia el contenedor de almacenamiento y la enfundadura realizando el lavado de los mismos. Al terminar el agua recirculada del tanque balance se abre una válvula que permite el ingreso de nueva agua al mismo (hay que tener en cuenta de no dejar al tanque balance sin agua o la bomba de producto trabajará en seco lo que puede producir serios problemas en dicho equipo), se deja que esta agua atravesase por el

proceso para enfriarlo, al alcanzar una temperatura de salida de producto de 38 °C se realiza la apertura de la válvula de paso de agua helada proveniente del banco de hielos, al cabo de veinte segundos se enciende la bomba de agua helada hasta que se llene las tres cuartas partes del tanque balance y cuando la temperatura de salida de producto sea la más cercana a la temperatura del agua proveniente del banco de hielos se abre la válvula de salida para eliminar esta agua helada del sistema y el mismo queda en las condiciones adecuadas para dar inicio al pasteurizado de leche según se requiera.

Al estar muy cerca de terminarse el agua helada del tanque balance se vierte la leche en el mismo hasta llenarlo por completo y al darse cuenta el ingeniero que la leche empieza a desfogarse leche, se realiza el cierre de la válvula de salida, para que dentro del sistema esté recirculando únicamente leche, así tenemos dentro del proceso una temperatura de alta que es 75 °C y una de baja que es 8 °C; posterior se realiza la apertura de la válvula de salida hacia el tanque de almacenamiento al cual llega ya leche pasteurizada para su posterior enfundado y contiguo refrigerado o distribuido, teniendo en cuenta que la temperatura máxima de conservación debe ser de 4 °C para evitar posibles deterioros de las propiedades nutritivas del producto..

Al concluir de pasteurizar toda la leche se apaga la descremadora centrífuga, luego de unos tres minutos se apagan el resto de equipos del sistema.

Es importante que al finalizar el proceso de pasteurizado siempre se debe realizar el lavado de los equipos y el sistema en general para evitar que dentro de estos queden residuos de leche la cual podría generar focos de agentes patógenos que afecten al proceso en un posterior proceso de pasteurizado.

Para el proceso de lavado, una vez lleno el tanque balance con agua, se encienden las bombas de producto y agua caliente durante cinco a ocho minutos, luego de este tiempo se activa la válvula de desvío durante otros cinco minutos, después se desactiva a ésta durante un minuto y medio para que se la vuelva a activar otros cinco minutos y posterior se desactiva por un minuto, este proceso se realiza de forma cíclica hasta que la temperatura de salida de producto alcance los 70 °C, este proceso de calentamiento es el mismo para la pasteurización como para el lavado.

En este momento el sistema se encuentra listo para introducir al agua un químico el cual efectuará el adecuado lavado de los equipos y tuberías, una vez puesto este químico se lo deja que actúe durante veinte minutos y finalmente se realiza la apertura de la válvula de salida y posterior desfogue de esta agua con el químico, al terminar dicha agua se introduce una nueva para que limpie cualquier residuo de la anterior durante el tiempo que le parezca necesario al ingeniero. Así finalmente se realizará el apagado de los equipos.

Teniendo en cuenta que en la planta de lácteos también se ofertan productos derivados de la leche como yogurt y quesos, para distribuirlos en los hospitales, ancianatos y comedores politécnicos de Riobamba y Tunshi.

La leche para estos también necesitan de un proceso de pasteurizado el procedimiento es el mismo que para leche es decir el calentamiento inicial del agua para el enjuague de los equipos, la recirculación del agua por el sistema sin embargo, a excepción de la leche tratada las condiciones de temperaturas las cuales se somete la leche previo a la realización del yogurt y el queso son distintas y se especifican de manera exacta en la siguiente tabla.

Tabla 19. Condiciones de temperatura para proceso de pasteurizado

Producto	Temperatura de alta	Temperatura de baja
Leche	>75 °C	<8 °C
Yogurt	>65 °C	35 °C
Queso	>82 °C	47 °C

Fuente: Autores

4.8 Diagrama de flujo del proceso

El diagrama de flujo para el proceso de pasteurizado y lavado se encuentran en los ANEXOS B.I y B.II respectivamente. En estos se indican los tiempos y condiciones que deben cumplir para obtener un adecuado pasteurizado, entre las principales condiciones las temperaturas de alta y de baja, los mismos que son los responsables de eliminar los agentes patógenos presentes en la leche cruda.

La finalidad del diagrama de flujo es denotar mediante representaciones gráficas el

proceso que realizan los equipos presentes en la pasteurización y comprender de una manera más exacta su funcionamiento y el control que debe tener cada etapa del proceso.

4.9 Descripción de los equipos que intervienen en el proceso

Tabla 20. Equipos que intervienen en el proceso

N°	Nombre
1	Descremadora centrífuga
2	Compresor
3	Bomba de producto
4	Bomba de agua caliente
5	Válvula de desvío
6	Válvula de agua helada
7	Bomba de agua helada

Fuente: Autores

4.10 Programación del PLC en el software

Los equipos de automatización como se mencionaron anteriormente son de la reconocida marca Siemens, se utilizará el software TIA Portal, el cual permite la completa programación de los equipos.

Este software de Siemens es eficiente e intuitivo, su fácil utilización proporciona las mejores condiciones para una automatización de alto nivel, además brinda una comunicación rápida y compatibilidad directa con lo demás dispositivos para su programación.

Para la lectura e interpretación de las variables de proceso, así como el control de los actuadores se utilizará una PLC S7-1200 CPU 1214C AC/DC/RELÉ, para el monitoreo de estado del proceso se contará con una pantalla touch KTP400 Basic Panel Color, su programación se la realizará mediante el software TIA Portal V13. Las variables a controlar que serán condiciones para los eventos posteriores serán temperaturas de alta y de baja, las mismas que son las indispensables para un buen proceso de pasteurizado.

4.11 Software de programación TIA Portal V13

El TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal*) es actualmente uno de los software más completos para automatización propio de Siemens, el cual abarca todos los productos SIMATIC, posibilitando la creación y diseño de estructuras con las diferentes combinaciones que se deseen realizar.

Sus principales ventajas se pueden destacar su manejo, el cual permite al usuario rápida comprensión del área de trabajo, es intuitivo al momento de realizar programaciones en los diferentes tipos de lenguaje.

Así mismo presente facilidad de carga de los datos hacia los diferentes hardwares, las diferentes configuraciones y sus diagnósticos son perfectamente asistidos por gráficos, los diagnósticos pueden realizarse en campo o de manera online mediante una rápida configuración de red que éste brinda a los usuarios.

Su ligera desventaja es que solo detecta errores de programación más no errores de lógica dentro de la misma.

Mediante este software se puede configurar fácilmente hardwares de control como de visualización dentro de un proceso de ingeniería unitario.

4.11.1 Lenguajes de programación del TIA Portal. Este software tiene los cuatro tipos de lenguajes de programación que especifica la norma IEC 1131 para los diferentes programas de aplicación a desarrollarse.

- Listado de instrucciones (AWL): Su base de instrucciones es limitada, este lenguaje transcribe las instrucciones de forma inmediata y elemental.

Sus aplicaciones son mínimas, son usadas en pequeñas programaciones con la finalidad de reducir partes de la aplicación.

- Texto estructurado (ST): Es un lenguaje de alto nivel, se utiliza principalmente cuando la programación de procesos necesita instrucciones complejas o cálculos extensos. No es muy utilizado en la programación de PLC.

- Esquema de bloque de funciones (FDB): También llamando esquema básico de funciones (EBF), es un lenguaje de tipo gráfico, consisten en cablear bloques entre sí para lograr una secuencia lógica, tiene bien definidas sus entradas y salidas.
- Esquema de contactos (KOP) o ladder diagram (LD): Este tipo de programación tipo escalera es el más utilizado en el mundo de la programación de PLC's, fue la primera forma de programación por ello tiene grandes semejanzas con los diagramas de circuitos eléctricos.

Estos son los lenguajes de programación con los cuales se puede ejecutar las acciones el PLC o cualquier otro dispositivo de control de la marca Siemens.

4.11.2 *Requisitos mínimos para la instalación del software TIA Portal V13.* Los Sistemas Operativos que soportan el software necesario para programar el autómatas y demás dispositivos de marca Siemens son:

- Windows 7 Home Premium/Professional/Enterprise/Ultimate SP1(32 Bit)
- Windows 7 Home Premium/Professional/Enterprise/Ultimate SP1 (64 Bit)
- Windows 8.1
- Windows 8.1 Professional/Enterprise

Características mínimas de hardware:

Tabla 21. Características mínimas de hardware

Procesador	Core i5-3320M , 3.3 GHz
RAM	8 GB
Resolución de pantalla	1920 x 1080 px

Fuente: Autores

4.12 Lista de variables

Para mayor facilidad al momento de programar y diagnosticar cualquier posible error, se ha realizado varias tablas de variables, identificando el contenido de las mismas. En estas listas podemos asignar un nombre a la variable a medir o controlar, el tipo de dato de la misma, la dirección virtual que se le dará a dicha variable dentro de la programación para

que el equipo asigne de forma física en caso de ser necesario y además se recomienda poner comentarios respecto a la función que cumple la variable, esto ayuda a la comprensión del mismo.

Tabla 22. Entradas digitales

Nombre	Dato	Dirección	Comentario
Paro	Bool	%I0.0	Pulsador de paro del sistema
Inicio	Bool	%I0.1	Pulsador para iniciar el proceso
Final	Bool	%I0.2	Pulsador digital para proceso de leche
Automático	Bool	%I0.3	Pulsador digital para proceso de queso
Manual	Bool	%I0.4	Pulsador digital para proceso de yogurt
Leche	Bool	%M4.5	Valor digital de 1 o 0 a través de la pantalla HMI
Queso	Bool	%M4.6	Valor digital de 1 o 0 a través de la pantalla HMI
Yogurt	Bool	%M4.7	Valor digital de 1 o 0 a través de la pantalla HMI

Fuente: autores

Tabla 23. Entradas analógicas

Nombre	Dato	Dirección	Comentario
Temp_Baja	Int	%IW96	Recibe la señal enviada por el RTD1(Temp. de baja)
Temp_Ag_Hel	Int	%IW98	Recibe la señal enviada por el RTD2(Temp. agua helada)
Temp_Alta	Int	%IW100	Recibe la señal enviada por el RTD3(Temp. de alta)
Calc_Talta	Real	%MD20	Contiene un valor resultado de una operación matemática
Temp_Alta_real	Real	%MD21	Es el valor la señal transformada a valor de temperatura
Calc_Tbaja	Real	%MD26	Contiene un valor resultado de una operación matemática
Temp_baja_real	Real	%MD30	Es el valor la señal transformada a valor de temperatura
Calc_ag_hel	Real	%MD34	Contiene un valor resultado de una operación matemática
Temp_ag_hel_real	Real	%MD38	Es el valor la señal transformada a valor de temperatura

Fuente: Autores

Tabla 24. Marcas o memorias

Nombre	Dato	Dirección	Comentario
Etapa 0	Bool	%M0.0	Apagado de todos los equipos
Etapa 1	Bool	%M0.1	Encendido de centrífuga y compresor
Etapa 2	Bool	%M0.2	Encendido B.prod. y agua caliente
Etapa 3	Bool	%M0.3	Activ. válvula de desvío
Etapa4	Bool	%M0.4	Desactiv. válvula de desvío
Etapa 5	Bool	%M0.5	Encendido de sirena Temp adecuada
Etapa 6	Bool	%M0.6	Activación válvula de salida
Etapa 7	Bool	%M0.7	Activación válv. de agua helada

Tabla 25. (Continuación)

Etapa 8	Bool	%M1.0	Encendido bomba de agua helada
Etapa 9	Bool	%M1.1	Desactiv. válvula de salida
Etapa 10	Bool	%M1.2	Activación válvula de salida
Etapa 11	Bool	%M1.3	Activación sirena, sistema listo
P1	Bool	%M1.4	Etapa de espera
P2	Bool	%M1.5	Etapa de espera
P3	Bool	%M1.6	Etapa de espera
P4	Bool	%M1.7	Etapa de espera
P5	Bool	%M2.0	Etapa de espera
T1	Bool	%M2.1	Memoria de salida de temporizador 1
T2	Bool	%M2.2	Memoria de salida de temporizador 2
T3	Bool	%M2.3	Memoria de salida de temporizador 3
T4	Bool	%M2.4	Memoria de salida de temporizador 4
T5	Bool	%M2.5	Memoria de salida de temporizador 5
T6	Bool	%M2.6	Memoria de salida de temporizador 6
T7	Bool	%M2.7	Memoria de salida de temporizador 7
T8	Bool	%M3.0	Memoria de salida de temporizador 8
T9	Bool	%M3.1	Memoria de salida de temporizador 9
T_baja_70	Bool	%M3.2	La temp. de baja sobrepasó los 65°C
T_baja_32	Bool	%M3.3	La temp. de baja está debajo de los 35°C
Temp_adequadas_leche	Bool	%M3.4	Condiciones de Temp. para leche óptima
Temp_adequadas_queso	Bool	%M3.5	Condiciones de Temp. para queso óptima
Temp_adequadas_yogurt	Bool	%M3.6	Condiciones de Temp. para yogurt óptima
Etapa12	Bool	%M3.7	Apado de centrífuga.
T10	Bool	%M4.0	Memoria de salida de temporizador 10
Pasteurizar	Bool	%M4.1	Condición de arranque pasteurizar
Lavar	Bool	%M4.2	Condición de arranque lavado
P	Bool	%M4.3	Memoria de pulsador digital HMI
L	Bool	%M4.4	Memoria de pulsador digital HMI
E0	Bool	%M5.0	Etapa inicial apagado de equipos
E1	Bool	%M5.1	Encendido de B. de producto y agua caliente
E2	Bool	%M5.2	Activación válv. de desvío
E3	Bool	%M5.3	Desactiv. vál. de desvío
E4	Bool	%M5.4	Encendido de sirena para poner químico
E5	Bool	%M5.5	Etapa de espera
E6	Bool	%M5.6	Encendido sirena fin de lavado
Tiempo1	Bool	%M5.7	Memoria de salida de temporizador 1(lavado)
Tiempo2	Bool	%M6.0	Memoria de salida de temporizador 2(lavado)
Tiempo3	Bool	%M6.1	Memoria de salida de temporizador 3(lavado)

Tabla 26. (Continuación)

tiempo4	Bool	%M6.2	Memoria de salida de temporizador 4(lavado)
Temp_Adecuada_lavado	Bool	%M6.3	Condición de Temp. lavado óptimo
EP	Bool	%M6.4	Etapa de espera
Tiempo5	Bool	%M6.5	Memoria de salida de temporizador 5(lavado)
Apagado total	Bool	%M6.6	Memoria para desactivado de contac. General
Etapa 13	Bool	%M6.7	Etapa final
T11	Bool	%M7.0	Temporizador
pre-Etapa	Bool	%M7.1	Etapa para condición de apagado equipos
EE0	Bool	%M7.2	Etapa para condición de apagado equipos
E7	Bool	%M7.3	Etapa final lavado
tiempo6	Bool	%M7.4	Memoria de salida de temporizador 6(lavado)
T_inicio	Bool	%M7.5	Temporizador inicial

Fuente: Autores

Tabla 27. Salidas digitales

Nombre	Dato	Dirección	Comentario
Centrífuga	Bool	%Q0.0	Bobina de contactor-Centrífuga
Compresor	Bool	%Q0.1	Bobina de contactor-Compresor
Bomba_producto	Bool	%Q0.2	Bobina de contactor- B.producto
Bomba_ag_cal	Bool	%Q0.3	Bobina de contactor- B.agua caliente
Valv_desvío	Bool	%Q0.4	Bobina de relé de electroválvula
Valv_salida	Bool	%Q0.5	Bobina de la solenoide de válvula
Valv_ag_hel	Bool	%Q0.6	Bobina de la solenoide de válvula
Bomba_ag_hel	Bool	%Q0.7	Bobina de contactor- B.agua helada
Sirena	Bool	%Q1.0	Bobina de relé de sirena

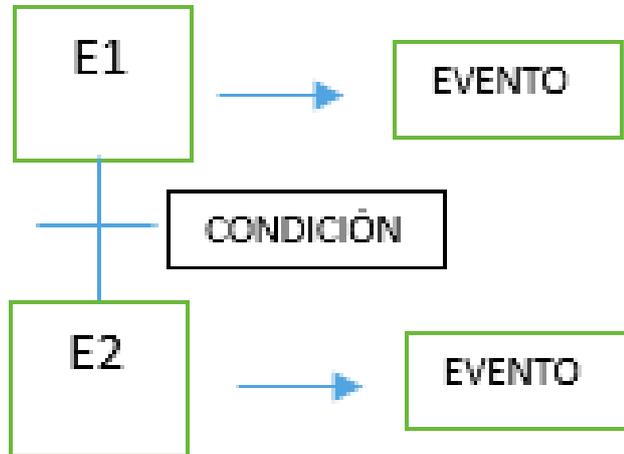
Fuente: Autores

Esta asignación de variables se las ha realizado una vez que se ha diseñado una programación formal o también llamada grafcet y formado las ecuaciones necesarias estas serán ingresadas posteriormente al PLC cambiando las ecuaciones a lenguaje de contactos o programación de tipo escalera, hay que tener en cuenta que el software no detecta fallas en la lógica de la programación.

4.12.1 Programación formal o grafcet. Mediante la descripción de los procesos realizados en el punto 4.9.1 se construye una estructura lógica y ordena con etapas y transiciones y condiciones, estos indican los eventos a ejecutarse para que se den respectivamente para cada uno de los equipos presentes en el proceso a través de los

actuadores que en este caso son relés.

Figura 42. Esquema básico de programación grafcet



Fuente: Autores

4.12.2 *Desarrollo del grafcet del proceso de pasteurizado.* Con la ayuda del software Fluidsim de Festo se puede facilitar el desarrollo de un esquema grafcet.

El esquema grafcet para el proceso de pasteurizado se encuentra detallado en el ANEXO D.I.

Las variables utilizadas se especifican en la siguiente tabla la cual tiene concordancia con las anteriores asignadas al PLC.

Tabla 28. Variables usados en el grafcet

Entradas Digitales		Salidas Digitales		Marcas				Temporizadores	
Paro	I0.0	Centrif	Q0.0	E0	M0.0	P1	M1.4	T1	2 m
Inicio	I0.1	Compr	Q0.1	E1	M0.1	P2	M1.5	T2	5 m
Fin	I0.2	Bp	Q0.2	E2	M0.2	P3	M1.6	T3	1 m
Manual	I0.3	Bac	Q0.3	E3	M0.3	P4	M1.7	T4	10 s
Automático	I0.4	Valdes	Q0.4	E4	M0.4	P5	M2.0	T5	10 m
		Valsal	Q0.5	E5	M0.5	E12	M3.7	T6	20 s
Analógicas		Valahe	Q0.6	E6	M0.6	L	M4.5	T7	3 m
Tbaja	I1.0	Bahel	Q0.7	E7	M0.7	Q	M4.6	T8	5 m
Tahel	I1.1	Sirena	Q1.0	E8	M1.0	Y	M4.7	T9	10 s
Talta	I1.2			E9	M1.1			T10	2 m
				E10	M1.2				
				E11	M1.3				

Fuente: Autores

Tabla 29. Ecuaciones de primer nivel para proceso de pasteurizado

E0 =	$E12 * T10 + E0 * (E1)$	M0.0
E1 =	$E0 * INICIO * PARO + E1 * (E2)$	M0.1
E2 =	$E1 * T1 + E2 * (\sim E3 * \sim E12)$	M0.2
E3 =	$E2 * INICIO * PARO + E3 * (E4) + E4 * T3 * (Tbaja)$	M0.3
E4 =	$E3 * T2 + E4 * (E5) * (E3)$	M0.4
E5 =	$E4 * T3 * Tbaja + E5 * (P1)$	M0.5
P1 =	$E5 * T4 + P1 * (E6)$	M1.4
E6 =	$P1 * T5 + E6 * (\sim P2)$	M0.6
P2 =	$E6 * Tbaja + E5 * (E7) * (P4) * (P5)$	M1.5
E7 =	$P2 * L * PARO + E7 * (E8)$	M0.7
E8 =	$E7 * T6 + Tbaja * (Tahel)$	M1.0
E9 =	$E8 * T7 + E9 * (E10)$	M1.1
E10 =	$E9 * T8 + E10 * (E11)$	M1.2
E11 =	$E10 * Tbaja * Talta + E11 * (P3) + Talta * Tbaja * (P4 + P5)$	M1.3
P3 =	$E11 * T9 + P3 * (E12)$	M1.6
P4 =	$P2 * Q * PARO + P4 * (E11)$	M1.7
P5 =	$P2 * Y * PARO + P5 * (E11)$	M2.0
E12 =	$P3 * FINAL + E12 * (E0) + E2 * FINAL$	M3.7

Fuente: Autores

E2= Etapa ejecutada (Contacto abierto); E2= Etapa no ejecutada (Contacto cerrado)

Tabla 30. Ecuaciones de segundo nivel para proceso de pasteurizado

M0.0 =	$M3.7 * T10 + M0.0 * M0.1$
M0.1 =	$M0.0 * I0.0 * I0.1 + M0.1 * M0.2$
M0.2 =	$M0.1 * T1 + M0.2 * M0.3 * M3.7$
M0.3 =	$M0.2 * I0.0 * I0.1 + M0.3 * M0.4 + M0.4 * T3 * I1.0$
M0.4 =	$M0.3 * T2 + M0.4 * M0.5 * M0.3$
M0.5 =	$M0.4 * T3 * I1.0 + M0.5 * M1.4$
M1.4 =	$M0.5 * T4 + M1.4 * M0.6$
M0.6 =	$M1.4 * T5 + M0.6 * M1.5$
M1.5 =	$M0.6 * I1.0 + M1.5 * M0.7 * M1.7 * M2.0$
M0.7 =	$M1.5 * I0.2 * I0.0 + M0.7 * M1.0$
M1.0 =	$M0.7 * T6 + M1.0 * M1.1$
M1.1 =	$M1.0 * T7 + M1.1 * M1.2$
M1.2 =	$M1.1 * T8 + M1.2 * M1.3$
M1.3 =	$M1.2 * I1.0 * I1.1 + M1.3 * M1.6 + I1.0 * I1.1 * M1.7 + M2.0$
M1.6 =	$M1.3 * T9 + M1.6 * M3.7$
M1.7 =	$M1.5 * I0.3 * I0.0 + M1.7 * M1.3$
M2.0 =	$M1.5 * I0.4 * I0.0 + M2.0 * M1.3$
M3.7 =	$M1.6 * I0.5 + M3.7 * M0.0 + M0.2 * I0.5$

Fuente: Autores

4.12.3 *Desarrollo del graficet del proceso de lavado.* El esquema del graficet para el lavado se encuentra en el ANEXO D.II, al igual que el graficet de pasteurizado fue diseñado con la ayuda de software Fluidsim de Festo.

Este proceso es más simple pero igual de importante para el sistema, debido a que la limpieza de los equipos y tuberías son fundamentales para el tratamiento de leche, esta tiene la propiedad de absorber los olores muy fácilmente, un mal lavado perjudicará a toda la leche por pasteurizarse.

Tabla 31. Ecuaciones de primer nivel para proceso de lavado

E0=	$E6*FINAL + E0*E1$	M5.0
E1=	$E0*PARO*INICIO + E1*E2$	M5.1
E2=	$E1*T1 + E3*E3 + E3*T3*Tbaja$	M5.2
E3=	$E2*T2 + E3*E4*E2$	M5.3
E4=	$E3*Tbaja + E4*E5$	M5.4
E5=	$E4*T4*INICIO*PARO + E5*E6$	M5.5
E6=	$E5*T5 + E6*E0$	M5.6

Fuente: Autores

El proceso de lavado hasta alcanzar los 70 °C es el mismo a excepción de que en este no se acciona la bomba centrífuga, este equipo es lavado manualmente debido a la delicadeza del mismo, de tal manera solo varían ciertos tiempos y condiciones dentro del graficet ya realizado anteriormente para el proceso de pasteurizado.

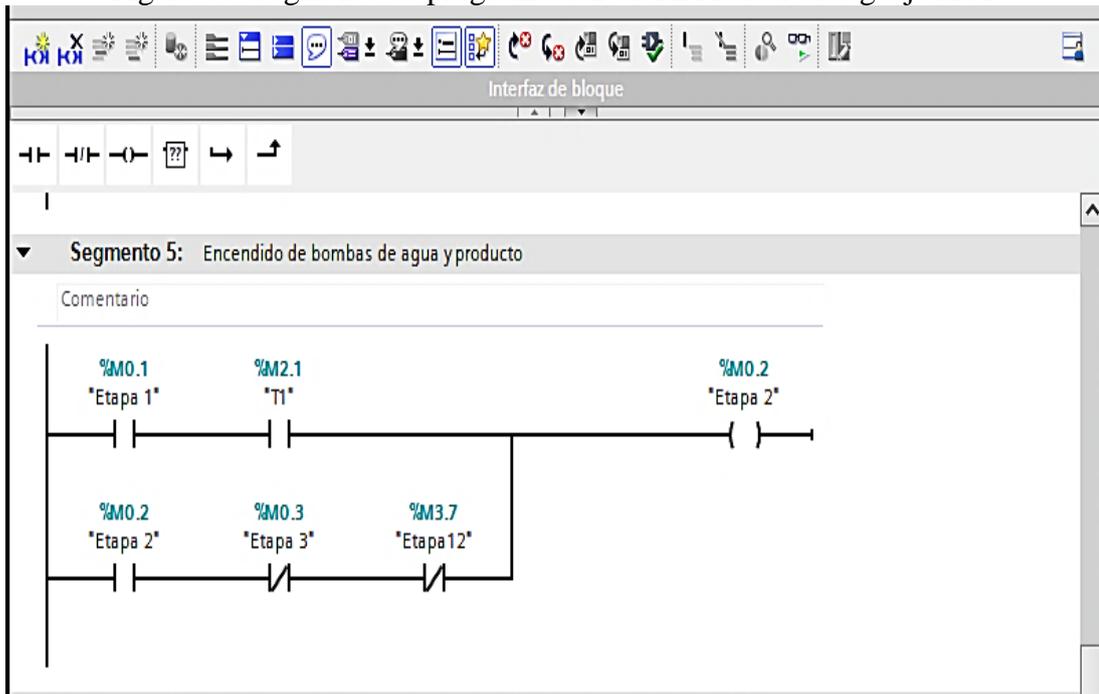
Tabla 32. Ecuaciones de segundo nivel para proceso de lavado

M5.0=	$M5.6 * I0.5 + E5.0 * M5.1$
M5.1=	$M5.0 * I0.0*I0.1 + M5.1 * M5.2$
M5.2=	$M5.1 * T1 + M5.2 * M5.3 + M5.3*T3 * I1.0$
M5.3=	$M5.2 * T2 + M5.3 * M5.4 * M5.2$
M5.4=	$M5.3 * I1.0 + M5.4 * M5.5$
M5.5=	$M5.4 * T4*I0.0*I0.1 + M5.5 * M5.6$
M5.6=	$M5.0 * T5 + M5.6 * M5.0$

Fuente: Autores

Con las ecuaciones de segundo nivel se realiza la programación en el TIA Portal en un lenguaje de tipo escalera o KOP o programación en escalera como se muestra a continuación en un segmento de programación, hay que tener en cuenta que varios segmentos pueden formar un bloque dentro de este software.

Figura 43. Segmento de programación en TIA Portal en lenguaje KOP



Fuente: Autores

4.12.4 *Cálculo de la ecuación de la recta para los transmisores de temperatura.* Para la medición de la temperatura del proceso, se adquirió un módulo RTD de entradas analógicas SM1231, el cual capta la señal enviada por los Pt-500 en función de un cambio de temperatura y envía un valor este valor será tomado por el PLC para ser procesado.

El PLC no muestra directamente una medida de temperatura, por lo tanto, ha esta señal se la debe tratar o acondicionar, como la variación de la resistencia del Pt-500, normalmente este valor no es lineal, por tal razón con dichas cantidades se puede realizar una gráfica, linealizarla y encontrar una ecuación que refleje el cambio de los valores en función de la variación de temperatura a la que se encuentre expuesta y posteriormente poder ingresar dicha ecuación para lograr visualizar la temperatura real a la que se encuentra sometido el proceso de pasteurización.

Para esto se realizó mediciones de temperatura en un recipiente con un termómetro digital existente en el tablero de control manual del proceso de pasteurización de la planta de lácteos y el Pt-500 conectado al módulo RTD del controlador lógico programable, se tomó varias mediciones de la temperatura en condiciones iguales para obtener una ecuación más precisa.

Estos valores obtenidos mediante este proceso experimental son proporcionales a la variación de temperatura, como se dijo anteriormente los valores enviados desde la Pt-500 son datos de resistencia y estos se muestran en la tabla 31.

Tabla 33. Valores obtenidos del Pt-500 y el termómetro digital

Temperatura [°C]	Valor del Pt-500	Temperatura [°C]	Valor del Pt-500	Temperatura [°C]	Valor del Pt-500
9	-7	31	241	58	510
	-8		239		509
	-9		237		506
	-10		235		504
29	203	33	230	60	502
	204		229		501
30	226	33	263	60	527
	225		260		526
	221	48	407	65	522
	220		406		578
	219		405		570
	218		403	569	
	217		400	67	589
	216				587
				71	631

Fuente: Autores

Una vez obtenidos dichos valores como muestra la tabla 32, los mismos son graficados y linealizados mediante un software básico, las ecuaciones obtenidas representarán la temperatura real a la cual se encuentran sometidos los sensores de temperatura Pt-500, ya sea la temperatura de alta, la de baja o la del agua helada que proviene del banco de hielos.

Una vez listas las ecuaciones se la ingresarán en el autómatas programable para que sea tratada, procesada y se pueda visualizar dichas temperaturas, la de alta, la de baja y la del agua helada en el interfaz humano – máquina para el monitoreo y control del proceso.

Una vez escalado los valores es realizada la curva con mayor facilidad en las figuras 48, y 49 se puede distinguir que la curva no es de tipo lineal.

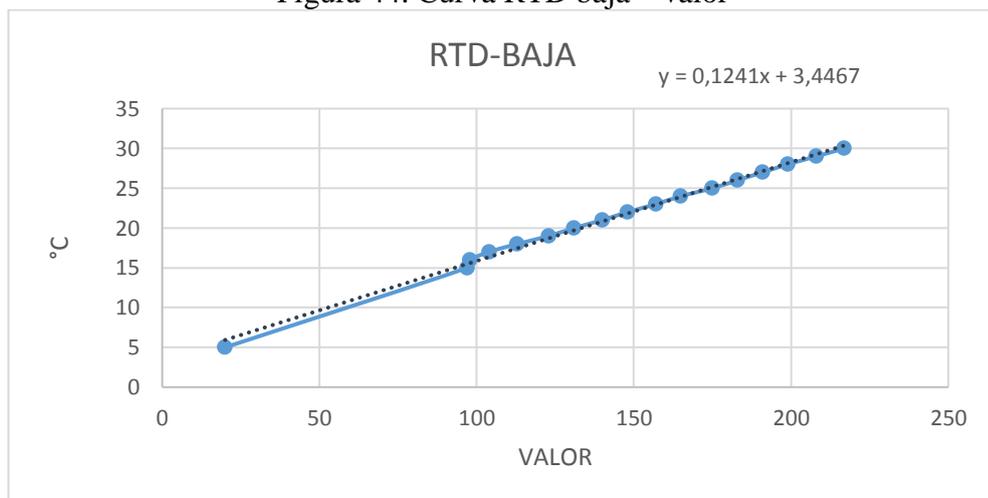
Tabla 34. Escala de valores

[°C]	Valor
5	20
15	97
16	98
17	104
18	113
19	123
20	131
21	140
22	148
23	157
24	165
25	175
26	183
27	191
28	199
29	208
30	217

Fuente: Autores

Con estos valores se puede hacer una curva Señal RTD – Temperatura, el mismo que dará como resultado una línea, la cual se puede linealizar y obtener una ecuación de línea recta.

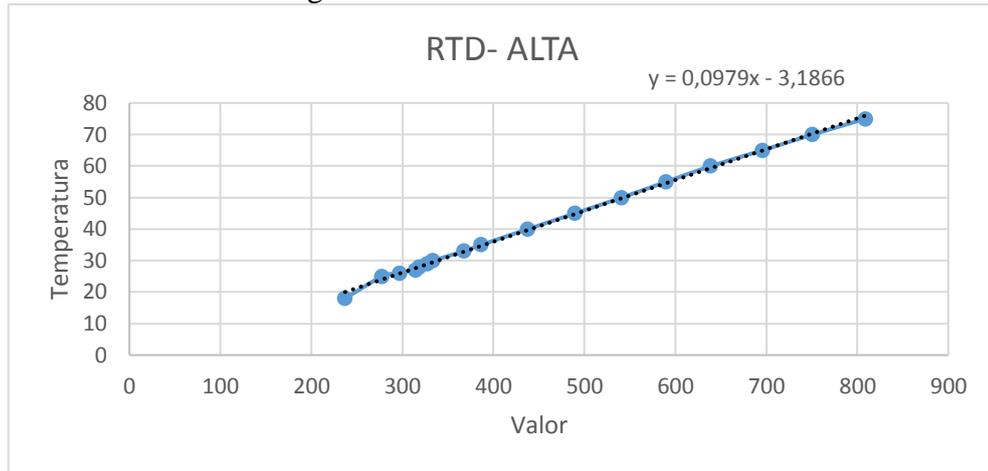
Figura 44. Curva RTD baja – valor



Fuente: Autores

Se realizó el mismo procedimiento para el RTD de alta y se obtuvo la siguiente curva.

Figura 45. Curva RTD alta – valor



Fuente: Autores

Aplicando la ecuación 7, que es la ecuación de la recta para dos puntos se puede determinar la ecuación a la que responde el Pt-500 al cambio de temperatura.

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{x - x_1} \quad (7)$$

Se puede apreciar que la ecuación de la línea de tendencia de la curva RTD-Temperatura es:

$$y = 0.1241x + 3,4467$$

Después de relacionar las anteriores se obtuvo la ecuación que marca valores más cercanos:

$$y = 0.1245x + 3,4467$$

La ecuación para el RTD de alta es:

$$y = 0.0979x - 4,54$$

Donde:

y = Temperatura en °C

x = Valor RTD

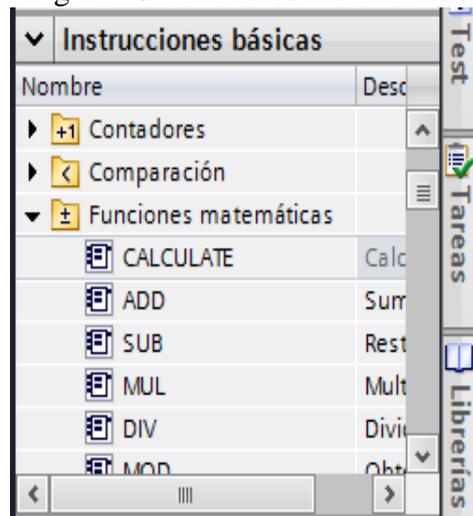
Ahora con esta ecuación se puede acondicionar el valor que nos envía el Pt-100 y que nos muestre uno de temperatura, el mismo que será comparado y visualizado por el usuario.

Esta ecuación se aplica a los demás RTD que son del mismo tipo y así obtener las temperaturas reales que estos se encuentren censando. Se debe comprobar los valores con los indicadores digitales del tablero general.

Para ello se debe utilizar funciones que permite la librería, para este caso se utilizarán las funciones matemáticas en el TIA Portal de la siguiente manera:

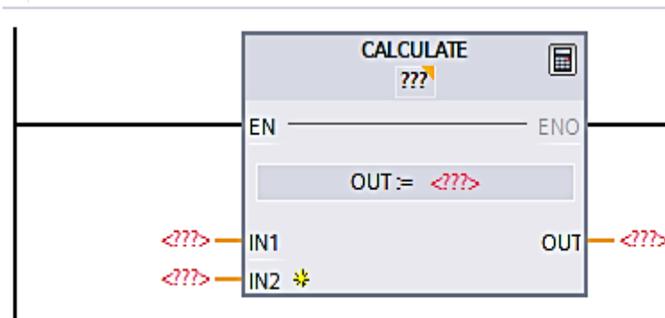
La forma más rápida de realizar este cálculo se muestra en las figuras 50 y 51, de la lista de instrucciones básicas que se encuentra a la derecha del área de trabajo, se selecciona la carpeta Funciones matemáticas y de ésta la función CALCULATE.

Figura 46. Funciones matemáticas



Fuente: Autores

Figura 47. Función CALCULATE



Fuente: Autores

Con esta función se pueden ejecutar varios tipos de cálculos básicos. Para hacer uso de esta función se necesita una entrada adicional IN3, en donde:

IN1 = Señal del Pt-500 ???= Real

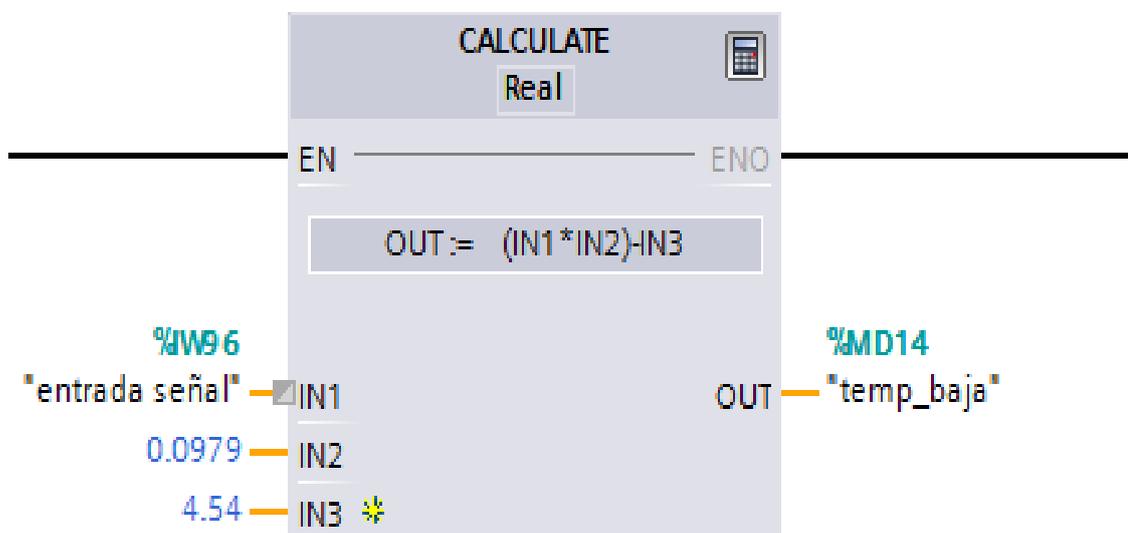
IN2= 0.0979

OUT:= (IN1*IN2)-IN3

IN3= 4.54

OUT= Se asigna a una memoria (MD) para compararlo.

Figura 48. Acondicionado del valor RTD



Fuente: Autores

4.12.5 *Diseño y programación de la interfaz humano - máquina HMI.* Se denomina HMI a cualquier equipo permita la comunicación entre el usuario y un equipo, máquina o proceso, este equipo permite el control y monitoreo de lo que sucede dentro del proceso.

EL HMI que se utilizará en este proyecto será una pantalla *touch* de la marca Siemens, específicamente una pantalla KTP400 Basic Panel Color de 4 pulgadas. Para su programación se necesita simplemente el software TIA Portal, el mismo con el que se desarrolló la programación del PLC, es una de las ventajas del TIA Portal, este permite programar todos los productos de la marca Siemens.

4.12.6 *Diseño de las imágenes del HMI.* La pantalla debe ser fácil de leer, interpretar, manejar y debe poseer controles claros y sencillos para la operación de los usuarios evitando así posibles errores y confusiones. Para ello este componente permite la creación

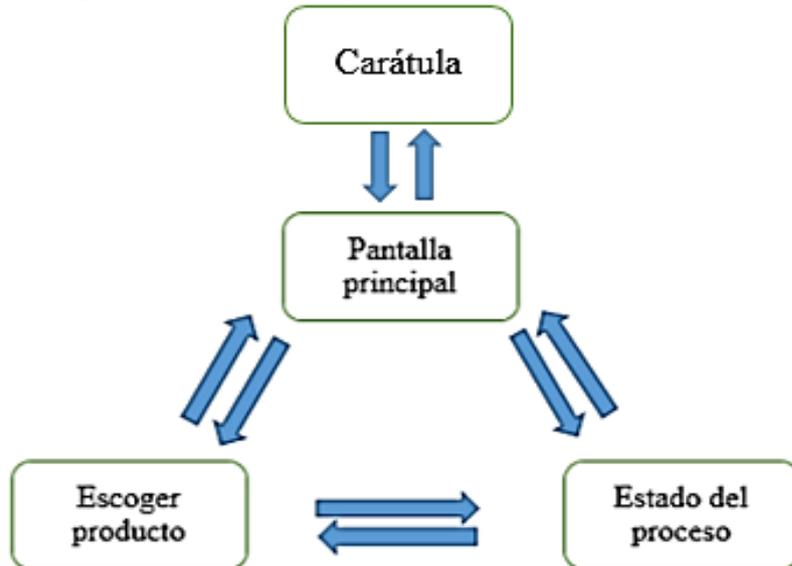
de varias pantallas o mejor llamadas por el software como imágenes, las cuales pueden contener botones digitales, gráficos indicativos y demás información que sea necesaria. Cada uno de estos se les asigna un evento a ejecutar cuando sean activados por el usuario o mostrar un valor requerido, pantalla siguiente o cualquier otro efecto de programación que se le agregue a los botones o demás opciones del dispositivo.

Para la creación de las imágenes y pantallas se debe tener en cuenta ciertas recomendaciones.

- Las imágenes no deben contener una cantidad excesiva de muestreo de procesos, es preferible categorizar las imágenes según la información que ésta brinda al usuario.
- La cantidad de imágenes que tenga una pantalla serán las necesarias para lograr una clara comprensión del proceso. El tamaño de las mismas debe ser proporcional al tamaño de la pantalla para mejorar la visualización del proceso y los equipos.
- Los colores a utilizarse no deben ser exagerados, ni demasiado brillantes como sugerencia se debe ocupar hasta tres colores por imagen o pantalla para evitar la saturación.
- Las animaciones deben tener un tamaño proporcionado al área de la pantalla caso contrario solo dificultaría su entendimiento y comprensión.
- Utilizar indicadores luminosos para los estados de equipos ayuda a facilitar la búsqueda de fallas en el proceso o a comprender en qué estado se encuentran los equipos presentes en el mismo.
- Los indicadores analógicos de información deben ser claros, exactos y fáciles de interpretar o comprender por cualquier usuario, además deben contener las unidades de medida respectiva dependiendo la medida que se esté visualizando.

En la figura 53 muestra el orden jerárquico de las imágenes del proceso con su relación lógica.

Figura 49. Orden jerárquico de las pantallas del proceso



Fuente: Autores

En el árbol de proyecto ubicado a la izquierda del área de trabajo, se selecciona la carpeta HMI KTP400 una vez que haya sido agregado el dispositivo. Se escoge la carpeta imágenes y se van añadiendo las necesarias. La prima imagen en modificarse es la imagen raíz, a esta imagen se le asignó el nombre de IMAGEN PRINCIPAL, como se muestra a continuación.

Figura 50. Imagen PRINCIPAL



Fuente: Autores

En esta imagen se han configurado cuatro botones de navegación que cumplen los siguientes eventos al ser pulsados:



Regresa a la imagen de inicio CARÁTULA



Activa la imagen ESCOGER PRODUCTO, activa el contacto de programación llamado PASTEURIZAR usado como condición de inicio.



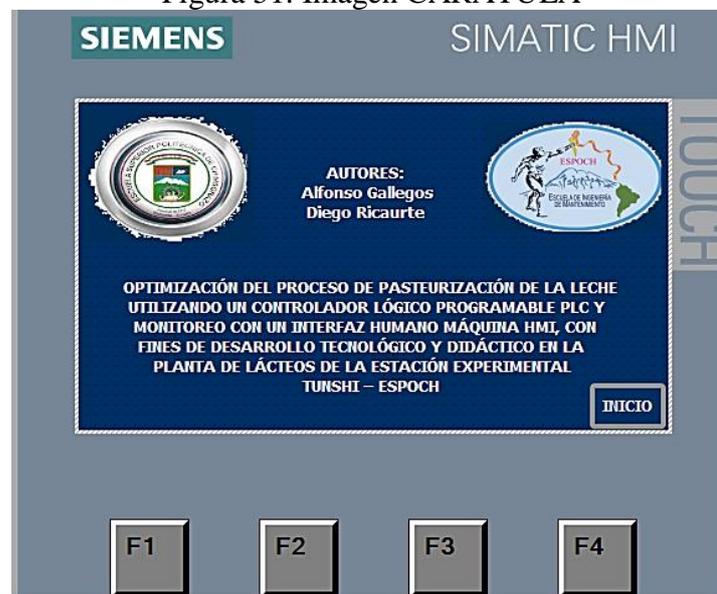
Activa la imagen ESTADO DE PROCESO, activa el contacto de programación llamado LAVAR usado como condición de inicio del lavado.



Activa la imagen ESTADO DE PROCESO, se utiliza cuando el usuario realice el proceso pasteurizado o lavado en forma manual, normalmente esto se lo ejecuta con fines didácticos, se podrán observar el comportamiento de los equipos.

Como imagen de presentación inicial se ha creado una denominada carátula, la cual indicará el tema del proyecto, los autores y además contiene los logotipos de la institución universitaria y la escuela a la que pertenecen los autores.

Figura 51. Imagen CARÁTULA



Fuente: Autores

Al energizar el tablero esta será la pantalla que se mostrará, la cual contiene información básica sobre el proyecto, sus autores y los logotipos de la institución y la carrera a la que pertenecen, de la misma forma tiene un botón de navegación el cual cumple el siguiente evento al pulsarse:



Activa IMAGEN PRINCIPAL.

Una vez que el usuario haya ingresado en la pantalla principal, mediante los botones de navegación podrá escoger el proceso a realizar. En caso de escoger la opción PASTEURIZAR se mostrará la siguiente imagen llamada ESCOGER PRODUCTO:

Figura 52. Imagen ESCOGER PRODUCTO



Fuente: Autores

Dentro de esta pantalla se puede observar tres pulsadores de dos posiciones ON/OFF y dos botones de navegación, el uno indica pasteurizar leche para enfundar, el dos pasteurizar para elaborar queso y el tres pasteurizar leche para procesar yogurt. Aquí se escoge el producto que se producirá con la leche ha pasteurizar, como se mencionó anteriormente las condiciones de temperatura para cada producto es diferente por lo que es necesario determinar el requerido.

En cualquiera de los tres caso que se escojan posteriormente se visualizará la pantalla correspondiente que permitirá el monitoreo de cada uno de los equipos presentes en el proceso de pasteurización. Esta pantalla cuenta además con un botón para retroceder.

Pulsadores:



Al enclavarlo activa una entrada en la programación llamada Leche, la cual determina y condiciona los rangos de temperatura adecuados.



Al enclavarlo activa una entrada en la programación llamada Queso, la cual determina y condiciona los rangos de temperatura adecuados.



Al enclavarlo activa una entrada en la programación llamada Yogurt, la cual determina y condiciona los rangos de temperatura adecuados para su respectiva pasteurización.

Botones de navegación:



Al pulsarse activa la imagen anterior, en el caso de que solo se desee visualizar el proceso o escoger otra opción.



Al pulsarse activa o direcciona hacia la imagen ESTADO DE PROCESO.

La interfaz humano – máquina brinda varias ventajas de entre las cuales se puede nombrar a la inserción de un sinnúmero de entradas digitales por medio de los pulsadores así también una variedad de salidas digitales como los leds indicadores entre otros, evitando el uso o adquisición de módulos de expansión de entradas y salidas de tipo digital.

La siguiente pantalla visualiza lo aquí explicado a cerca de las salidas digitales para la verificación del estado del proceso en el que se encuentra la pasteurización.

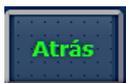
Figura 53. Imagen ESTADO DE PROCESO



Fuente: Autores

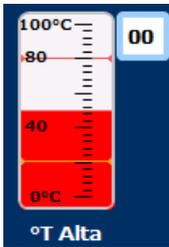
La imagen ESTADO DE PROCESO nos da información completa sobre la temperatura dentro del proceso de forma clara y precisa, así mismo tenemos un botón de navegación.

Botones de navegación:

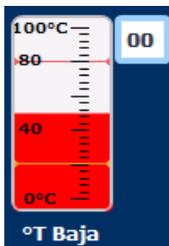


Al pulsarse activa la imagen anterior

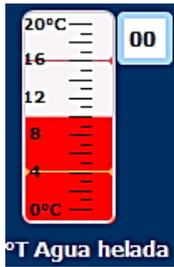
Indicadores:



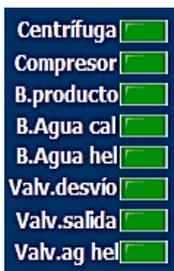
Visualiza de forma gráfica y digital el valor de la temperatura de alta, es decir a la temperatura a la cual se calienta el producto y a la que se encuentra el proceso. Permite verificar al usuario el correcto comportamiento de las temperaturas.



Visualiza de forma gráfica y digital el valor de la temperatura de baja a la que se encuentra el proceso, es decir a la temperatura a la cual se enfría el producto. Permite verificar al usuario el correcto comportamiento de las temperaturas.



Visualiza de forma gráfica y digital el valor de la temperatura del agua helada proveniente del banco de hielos, esta temperatura no se utiliza como condicionante de los procesos, es netamente informativo. También permite verificar al usuario el correcto comportamiento de las temperaturas.



Estas son luces pilotos digitales, la cuales cumple la función de indicadores de estado de los equipos y elementos actuadores que intervienen en el proceso. Al entrar en funcionamiento alguno de estos las luces también se encenderán. Además en caso de algún fallo de estos equipos el usuario podrá detectarlo fácilmente y corregirlo.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La automatización del proceso redujo el tiempo total de producción al mínimo, el cual se optimizó mediante el control de la válvula de desvío, permitiendo realizar el mismo volumen de leche con menos recursos.

Los factores principales que intervienen en el proceso de pasteurización son: temperatura, presión y tiempo; siendo la temperatura el más importante, puesto que el choque térmico producido dentro del intercambiador elimina los agentes patógenos presentes en la leche.

El monitoreo del proceso de pasteurización tanto en manual como en automático, facilita la visualización del estado del proceso.

Contar con una electroválvula en lugar de una válvula de $\frac{1}{4}$ de vuelta, garantiza la seguridad del personal, evitando que se expongan a las altas temperaturas de las tuberías.

El dimensionamiento de los elementos y materiales en la construcción del tablero permiten un correcto funcionamiento de los equipos.

Los manuales adjuntados y dotados al personal de la planta, facilita el manejo del tablero de control, así como también educa de forma clara sobre el mantenimiento y la seguridad que se debe tener con el mismo.

Mantener el tablero para trabajo en modo manual facilita la enseñanza para los estudiantes.

La automatización del proceso brinda al operador más tiempo para realizar otras actividades dentro de la planta la planta.

El consumo de combustible del caldero piro-tubular se reduce en un 11,59% (4,32 litros) al mes.

La optimización del proceso a través de la automatización, permite cumplir estrictamente con las temperaturas de pasteurizado y tiempos de lavado, garantizando las propiedades nutritivas del producto final y la adecuada limpieza de equipos y tuberías respectivamente.

El arreglo del tablero de potencia brinda el nivel de seguridad eléctrico requerido para la planta de lácteos, previniendo así cualquier tipo de riesgo de electrocución y cortocircuitos en éste.

La automatización del proceso brinda al operador más tiempo para realizar otras actividades dentro de la planta la planta.

5.2 Recomendaciones

Para complementar el proceso de automatización se sugiere repotenciar el tanque de recepción de producto el cual se encuentra fuera de funcionamiento.

Para reducir el tiempo del operador y el proceso se recomienda incorporar en el mismo un densímetro a fin de determinar el momento correcto de apertura y cierre de la válvula de paso hacia el tanque de almacenamiento al momento de hacer el aclarado.

Como una medida de seguridad adicional para el proceso se sugiere incorporar una válvula de seguridad, el cual en caso de tener una sobrepresión de vapor en el sistema pueda purgarlo automáticamente.

Se aconseja realizar un sistema de dosificación de la sosa para el proceso de lavado, así como también del conservante, este último en función del volumen de leche al momento de realizar la pasteurización.

En caso de cambio de operadores se debe realizar la respectiva inducción sobre el manejo del tablero, previo a cualquier operación a ejecutarse.

BIBLIOGRAFÍA

- ALAIS, Charles. 1998.** *Ciencia de la leche principios de técnica lechera*. Décimo Segunda. México : Centinela S.A., 1998.
- CREAU, Antonio. 2010.** *Instrumentación Industrial*. Octava Edición. México : Alfaomega Grupo Editor, 2010. pág. 792.
- BISHOP, R. Dorf / R. 2010.** *Modern Control System*. Doceava Edición. New Jersey : Prentice Hall, 2010. pág. 1082.
- BOLTON, W. 2001.** *Ingeniería de Control*. Segunda Edición. México : Alfaomega Grupo Editor, 2001. pág. 411.
- COCERA, A. RODRIGUEZ, J. 2000.** *Desarrollo de Sistemas Secuenciales*. Primera Edición. Madrid : Ediciones Paraninfo S.A., 2000. pág. 208.
- DORANTES, D. DORANTES, A. 2004.** *Automatización y control: prácticas y laboratorio*. Primera Edición. México : McGraw-Hill, 2004. pág. 268.
- GONZÁLEZ, Emilio. 2004.** *Programación de Autómatas SIMATIC S-7 300 (Lenguaje AWL)*. Primera Edición. Madrid : Ediciones Ceysa.Cano Pina S.L., 2004. pág. 288.
- HERNÁNDEZ, Ricardo. 2010.** *Introducción a los Sistemas de Control*. Primera. México : Pearson Educación, 2010. pág. 528.
- Åstrom, Johan. 2009.** *Control PID Avanzado*. Primera Edición. Madrid : Prentice Hall, 2009. pág. 501.
- MALONEY, Timothy J. 1993.** *Electrónica Industrial Moderna*. Quinta. México : Tipografía Barsa S.A., 1993. pág. 586.
- MANDADO, Enrique. 2011.** *Autómatas Programables: entorno y aplicaciones*. Madrid : Editorial Paraninfo, 2011.
- MARTÍNEZ, Uceda. 2000.** *Guía básica de calderas industriales eficientes*. México : Hall, 2000.
- MONTORO, J. ROMERA, S. 1994.** *Automatización Problemas Resueltos con Autómatas Programables*. Primera Edición. España : Editorial Paraninfo, 1994. pág. 302.
- PIEDRAFITA, Ramón. 2004.** *Ingeniería de la Automatización Industrial*. Primera Edición. Madrid : RA - MA, 2004. pág. 712.
- RAMIREZ, Daniel. 2010.** *Elaboración de Yogurt*. Primera Edición. Perú : Macro E.I.R.L., 2010.
- RODRÍGUEZ, Aquilino. 2007.** *Sistemas SCADA - Guía Práctica*. Primera Edición. España : Marcombo, 2007. pág. 256.

ROMERAL, J. 1997. *Autómatas Programables*. Primera Edición. España : Marcombo S.A., 1997. pág. 456.

SÁNCHEZ, José Acedo. 2003. *Control Avanzado de Procesos: Teoría y Práctica*. Primera Edición. Madrid : Editorial Diaz de Santos S.A., 2003. pág. 579.

SKOLOW. 1982. *Fabricación de productos lácteos*. Primera Edición. México : Acribia Editorial, 1982. pág. 337.

SOTO, Renato. 2011. *Banco de hielos*. México : Hall, 2011.

VEISSEYRE, Roger. 1980. *Lactología Técnica*. Segunda Edición. España : Acribia Editorial, 1980. pág. 640.

VILLACRÉS, Ing. Patricio. 2014. *La pasteurización y sus beneficios*. Riobamba : ESPOCH, 2014.

VV.AA. 2005. *Ingeniería de los procesos aplicada a la industrial láctea*. Primera Edición. México : Acribia Editorial, 2005. pág. 202.

