



Diseño e implementación del sistema de
control de temperatura de planta
pasteurizadora de leche en la Universidad
Antonio Nariño
Sede Cartagena

Elkin López Rocha
Cesar Augusto Junieles Galván

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Cartagena D.T. y C, Colombia
2023

**Diseño e implementación del sistema de
control de temperatura de planta
pasteurizadora de leche en la Universidad
Antonio Nariño
Sede Cartagena**

Elkin López Rocha
Código: 20441829529
Cesar Augusto Junieles Galván
Código: 20442015132

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
INGENIERO ELECTRONICÓ.

Director (a):
Ing. Bashir Yacub Bermúdez, Msc.

Línea de Investigación:
Instrumentación y control industrial

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Cartagena D.T. y C, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____, Cumple con

los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Ciudad, Día Mes Año.

DEDICATORIAS

En primer lugar, dedico este título a Dios, por ser mi soporte y guía en la consecución de este gran logro, agradecido hoy y siempre con sus infinitas bendiciones.

Dedico este trabajo de grado a mi esposa e hijos, mis padres, que con su apoyo constante no me dejaron desfallecer, queda comprobado que trabajar y estudiar no es fácil, hoy doy gracias a ellos por mantenerme en pie de lucha y alcanzar esta gran meta en mi crecimiento personal y profesional.

En especial a Ariel lobo quien ha creído en mí como persona, amigo y hermano gracias por ese apoyo incondicional.

Todo esto fue posible a DIOS y a ustedes.

Gracias.

Cesar Augusto Junieles Galván

Como ha de esperarse este trabajo está dedicado en primera instancia a Dios, quien nos bendice con la vida y salud permitiéndonos tener hoy esta oportunidad de crecimiento personal.

A mi familia la cual recibe de manera propia este logro pues han sido participes como motivo, pilares y apoyo incondicional para llegar a estas instancias en mis estudios como profesional.

Y a mis padres porque fueron los que con buena crianza y apoyo sembraron en mí el deseo de superación el cual hoy día me motivan a seguir adelante.

A ustedes y para ustedes.

Elkin Enrique López Rocha

Resumen

En este documento se describe el proceso de diseño e implementación de un sistema de control automático de temperatura a una planta pasteurizadora de leche. La pasteurización se hace bajo la técnica HTST (Hight Temperature Short Time), el cual contempla procesar la leche cruda a una temperatura entre 70° – 75°C por un lapso de 15 – 30 segundos. Aunque los estándares de pasteurización establecidos en el decreto 616 del 2006 definen puntos de calentamiento de para cada partícula a 72°C - 76°C por 15 segundos ende 71.7°C a 76 por 15 segundos para este tipo de pasteurización, para lograr una reducción de agentes patógenos más eficiente y sin perder las propiedades nutritivas de la leche.

El proceso de calentamiento se hace mediante tres (3) intercambiadores de calor de placa plana, en donde un líquido (agua) se calienta en la caldera de servicio para la transferencia de calor hacía la leche a pasteurizar. El primer intercambiador realiza la función de precalentamiento de la leche, en el segundo se realiza el levantamiento de la temperatura hasta el rango de pasteurización (70° – 75°C). El tercer intercambiador sirve de sostenedor de temperatura durante los 15 segundos. La planta pasteurizadora cuenta con sensores de temperatura en diferentes puntos del proceso que permiten un control efectivo de la temperatura. Además de electrobombas para la circulación de ambos líquidos (agua y leche). El proceso de control se implementó mediante un PLC Siemens S7 1200, quien controla la temperatura y el nivel del agua de caldera, el encendido y apagado de bombas. El monitoreo de las variables se realiza en una pantalla HMI Siemens.

Palabras clave: PLC, HTST, pasteurización, caldera, intercambiador de calor, pantalla HMI.

Abstract

This document describes the process of designing and implementing an automatic temperature control system for a milk pasteurizing plant. Pasteurization is done under the HTST (High Temperature Short Time) technique, which contemplates processing raw milk at a temperature between 70° – 75°C for a period of 15 – 30 seconds. Although the pasteurization standards established in Decree 616 of 2006 define heating points for each particle at 72°C - 76°C for 15 seconds, from 71.7°C to 76 for 15 seconds for this type of pasteurization, to achieve a reduction of pathogenic agents more efficiently and without losing the nutritional properties of the milk.

The heating process is done through three (3) flat plate heat exchangers, where a liquid (water) is heated in the service boiler for heat transfer to the milk to be pasteurized. The first exchanger performs the function of preheating the milk, in the second the temperature is raised up to the pasteurization range (70° – 75°C). The third exchanger serves as a temperature holder during the 15 seconds. The pasteurizing plant has temperature sensors at different points in the process that allow effective temperature control. In addition to electric pumps for the circulation of both liquids (water and milk). The control process was implemented by means of a Siemens S7 1200 PLC, which controls the temperature and the level of the boiler water, the on and off of pumps. The monitoring of the variables is carried out on a Siemens HMI screen.

Keywords: PLC, HTST, pasteurization, boiler, heat exchanger, HMI display.

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. Descripción del problema	15
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.3 Alcance	17
1.4 Metodología	18
2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Pasteurización	20
2.2. Tipos de pasteurización.....	21
2.2.1. Pasteurización HTST.....	22
2.2.2. Pasteurización tipo UHT	22
2.2.3 Pasteurización tipo Batch	23
2.3 Mantenimiento industrial	23
2.3.1. Tipos de mantenimiento	25
2.4. Sistemas de control	25
2.4.1. Sistemas de control de lazo abierto	27
2.4.2. Sistemas de control de lazo cerrado:.....	27
2.4.3. Elementos básicos de un sistema de control.....	28
2.5. Conceptos de ingeniería aplicados	29
2.5.1. Controlador Lógico Programable (PLC).....	29

2.5.2.	Sensores.....	32
2.5.3.	Actuadores.....	35
3.	DESARROLLO DEL PROYECTO DE INGENIERIA	39
3.1.	Análisis de problema de investigación.	39
3.2.	Especificaciones técnicas e ingenieriles	44
3.3.	Selección del controlador lógico programable	45
3.4.	Evaluación del estado de la planta	47
3.5.	Mantenimiento de equipos del proceso	49
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	51
4.1.	Adquisición de Datos	52
4.2.	Diagrama de conexiones eléctricas de actuadores.....	53
4.3.	Desarrollo del Software (Programa del PLC).....	54
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	62
5.1.	Pruebas de sensores de temperatura (HART)	62
5.2.	Temperatura del agua de caldera	64
5.3.	Temperatura de pasteurización de la leche.....	65
5.4.	Comportamiento de la temperatura del agua Vs leche	65
5.5.	Validación de pruebas	66
5.	CONCLUSIONES.....	70
6.	RECOMENDACIONES	72
	Bibliografía.....	73
	ANEXOS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- 1. Diagrama P&ID planta pasteurizadora	16
Figura 1- 2. Procedimiento metodológico del proyecto	18
Figura 1- 3. Control de nivel por electrosonda	19
Figura 2- 1. Grafica de la zona donde los microorganismos desaparecen. Temperatura vs Tiempo	20
Figura 2- 2: Esquema general de su sistema.	26
Figura 2- 3: Esquema lazo de control abierto	27
Figura 2- 4: Esquema lazo de control cerrado	28
Figura 2- 5: Partes de un plc	30
Figura 2- 6: Plc siemens s7 1200.	31
Figura 2- 7: Modulo entradas análogas sm 1231	32
Figura 2- 8: Sensor de temperatura PT 100 de 3 hilos	34
Figura 2- 9: Plc siemens s7 1200.	34
Figura 2- 10: Medidor de nivel	35
Figura 2- 11: Actuadores industriales	36
Figura 2- 12: Bombas sanitarias	36
Figura 2- 13: Resistencias de calefacción	37
Figura 2- 14: Válvula Solenoide.....	37
Figura 2- 15: Electrosonda.....	38
Figura 3- 1: Diagrama esquemático de la planta pasteurizadora.	39
Figura 3- 2. Evidencias de equipos en mal estado	47

Figura 4- 1: Diagrama de general de instrumentos asociados al PLC.....	51
Figura 4- 2: Diagrama lazo de control TT-01, TT-04, TT-05 y LT-01.....	52
Figura 4- 3: Diagrama eléctrico de potencia y control P-01	53
Figura 4- 4: Variables programadas en el plc.....	54
Figura 4- 5: Escalamiento de las entradas análogas sensor de temperatura TT-0155	
Figura 4- 6: Escalamiento de las entradas análogas sensor de temperatura TT-0455	
Figura 4- 7: Escalamiento de las entradas análogas sensor de temperatura TT-0555	
Figura 4- 8: Escalamiento de las entradas análogas sensor de nivel LT-01	56
Figura 4- 9. Rutina de arranque de la planta.	56
Figura 4- 10: HMI Seguimiento del control de la planta	57
Figura 4- 11: Comparadores para control de las resistencias de calefacción.....	58
Figura 4- 12: Salidas digitales y activación de las resistencias de calefacción....	59
Figura 4- 13: Sentencia lógica para arranque y paro de la bomba de leche.....	60
Figura 4- 14: Sentencia lógica para activar solenoide de leche pasteurizada	61
Figura 4- 15: Sentencia lógica para arranque y paro del enfriamiento	61
Figura 5- 1. Gráfica del Comportamiento de la temperatura del agua vs tiempo.	64
Figura 5- 2: Gráfica del comportamiento de la temperatura de la leche vs tiempo.	65
Figura 5- 3: Gráfica del comportamiento de las temperaturas de la leche y el agua	66
Figura 5- 4: Inicio de ciclo de pasteurización	67
Figura 5- 5: Arranque de bomba P-01 Y EV-01	67
Figura 5- 6: Inicio transferencia de calor.....	68
Figura 5- 7: Cumplimiento del primer ciclo HTST	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Equipos de almacenamiento	40
Tabla 2: Equipos de calentamiento.....	41
Tabla 3: Sensores.....	41
Tabla 4: Actuadores.....	42
Tabla 5: Puntos de medición de temperatura	43
Tabla 6: Monitoreo de pH y de nivel	43
Tabla 7: Especificaciones técnicas equipos planta	44
Tabla 8: Características de diferentes fabricantes de plc	45
Tabla 9. Estado general de equipos.....	48
Tabla 10: Equipos intervenidos para mantenimiento	49
Tabla 11. Calibración de sensor de agua de calentamiento (TT-01).....	62
Tabla 12. Calibración de sensor de leche pasteurizada (TT-04).....	63
Tabla 13. Calibración de sensor de Tanque leche pasteurizada (TT-05).....	63
Tabla 14. Calibración de sensor de nivel tanque leche pasteurizada (LT-01).....	64

LISTA DE ANEXOS

ANEXOS A: Seguimiento del trabajo integral de grado	75
ANEXOS B: Seguimiento del trabajo integral de grado	76
ANEXOS C: Solicitud de entrega de Trabajo	77
ANEXOS D: Datos técnicos de equipos instalados en la planta	78
ANEXOS E: Diagramas eléctricos de control planta pasteurizadora.....	79
ANEXOS F: Diagrama de potencia planta pasteurizadora	85
ANEXOS G: Manual de operación planta pasteurizadora.....	86

INTRODUCCION

La actualización de los procesos industriales busca mejorar la productividad, la calidad y estandarización de los productos, aumenta la satisfacción de los clientes y disminuye el desperdicio de materia prima. Un ejemplo de estos, procesos es la producción de productos derivados lácteos, los cuales, mediante los diferentes procesos de pasteurización proporcionan productos lácteos de alta calidad para el consumo humano y libre de agentes patógenos. Cabe resaltar que el Decreto 2838 de 2006 del Ministerio de la Protección Social dispuso que después de dos (2) años de su entrada en vigor el presente decreto, no se podrá comercializar leche cruda o leche cruda enfriada para consumo humano directo” (Decreto 2838 de 2006).

Posteriormente, el Decreto 1880 del 2011 del Ministerio de la Protección Social impone restricciones para la comercialización de leche cruda o leche cruda enfriada para el consumo humano directo (Decreto 1880 del 2011). Las anteriores normativas hacen que la pasteurización de la leche se convierta en un proceso vital para la industria lechera y para el consumidor.

En este sentido, en la universidad Antonio Nariño sede Cartagena el equipo de docentes y alumnos teniendo en cuenta todas estas normas viene realizando el armado y puesta en funcionamiento una planta piloto para la pasteurización de leche, siendo un elemento pues valioso pues ha servido como objeto de aprendizaje para los estudiantes en el área de la Ingeniería Electrónica e Ingeniería Electromecánica, en la que han aplicado los conocimientos sobre control, instrumentación y diseño de sistemas electrónicos en pro de optimizar el proceso de dicha planta piloto, buscando cumplir con los requerimientos exigidos en la higienización de la leche.

Dicho proceso de pasteurización en la planta se realiza realizando una recirculación de la leche a través de equipos del tipo de placas planas para el

intercambio de calor, en el cual el líquido caliente que pasa por él, en este caso agua transfiere calor a la leche a pasteurizar para llevarla a un rango de temperatura entre 70 – 75°C por un lapso de 15 – 30 segundos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

La universidad Antonio Nariño sede Cartagena cuenta con una planta piloto pasteurizadora de leche cruda, que ha servido como objeto de aprendizaje para los estudiantes en el área de la ingeniería electromecánica y electrónica, la cuales han aplicado los conceptos ya conocidos en formación como profesionales en búsqueda de optimizar el proceso de la planta piloto buscando cumplir con los requerimientos de pasteurización como meta. La pasteurización se realiza a través de intercambiadores de calor de placas planas, donde un líquido caliente (agua) transfiere calor a la leche a pasteurizar en un rango de temperatura entre $70^{\circ} - 75^{\circ}\text{C}$ por un lapso de 15 – 30 segundos. Aunque los estándares de pasteurización definen puntos de 71.7°C por 15 segundos, para lograr una reducción de agentes patógenos más eficiente y sin perder las propiedades nutritivas de la leche.

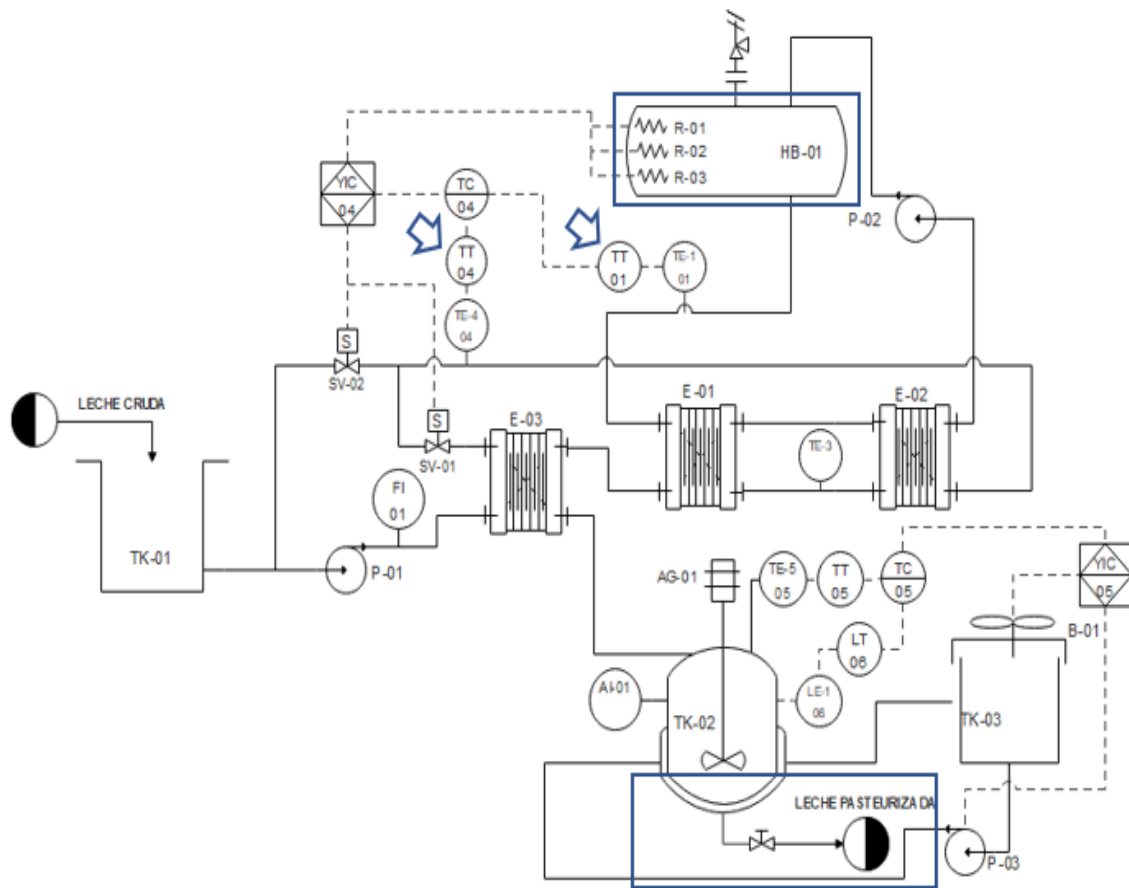
Esta planta pasteurizadora ya ha sido objeto de intervención anteriormente, como el trabajo realizado por Iriarte y Orozco (2019), quienes lograron el título de Ingeniero Electrónico mediante la automatización de la planta con el diseño y la implementación de un control análogo-digital empleando un PLC. Ellos lograron agrupar los subprocesos que tenía la planta y los unificaron, centralizando el control al cual llega la información de las variables del proceso en cada una de sus etapas. Sin embargo, quedaron algunas oportunidades de mejoras pendientes que son objeto de conocimiento y dieron lugar al mejoramiento de las condiciones funcionamiento de la planta con el desarrollo del presente proyecto de investigación.

Haciendo un análisis detallado de cada uno de los componentes del sistema se encontró que la planta no contaba con algunos componentes básicos para su funcionamiento, como los transmisores de temperatura TT-04 y TT-01 (ver figura 1).

los cuales son claves para el monitoreo de la temperatura en diferentes puntos del proceso y verificar que se cumpla el ciclo de pasteurización.

Por otro lado, se observa que no existía un sistema de reposición de agua al tanque de la caldera HB-01, que es la encargada de una correcta transferencia de calor a través resistencias R1, R2 Y R3 al agua del proceso y a su vez al producto a pasteurizar.

Figura 1- 1. Diagrama P&ID planta pasteurizadora



Fuente: Iriarte y Orozco (2019)

Así mismo, esta planta tampoco cuenta con un vaciado en automático del tanque 2TK-02 (ver Figura 1-1), que, una vez terminado el ciclo de enfriamiento de la leche pasteurizada, permita desalojar dicho tanque quedando listo para recibir nuevo producto. Por otra parte, la larga parada que sufrió la planta por la emergencia del Covid-19, hizo

necesario la realización de mantenimiento preventivo y correctivo a todos los componentes tales como intercambiadores, bombas, electroválvulas, etc.

Todas estas falencias sumadas a que no existen actualmente manuales de operación, mantenimiento y seguridad de la planta, impiden que planta pueda operar cumpliendo con los requerimientos del proceso de pasteurización y gestión de activos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Diseñar e implementar un sistema de control automático de temperatura a la planta pasteurizadora de leche en la universidad Antonio Nariño sede Cartagena.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar el diagnóstico del estado actual de los dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos que componen el sistema, para la reutilización o reposición para la funcionalidad de la planta.
- Implementar estrategias de control automático de temperatura al proceso de pasteurización de la leche.
- Implementar un sistema automático de control de nivel de agua al interior de la caldera de servicio para la operación de pasteurización de la planta.
- Elaborar un manual de operación, mantenimiento y seguridad de la planta pasteurizadora de lácteos en la Universidad Antonio Nariño que permitan una óptima gestión del activo.

1.3 Alcance

El alcance del proyecto estará limitado a:

- Puesta en funcionamiento del sistema de instrumentación, implementación de una estrategia de control en el PLC instalado en la planta, implementación del sistema

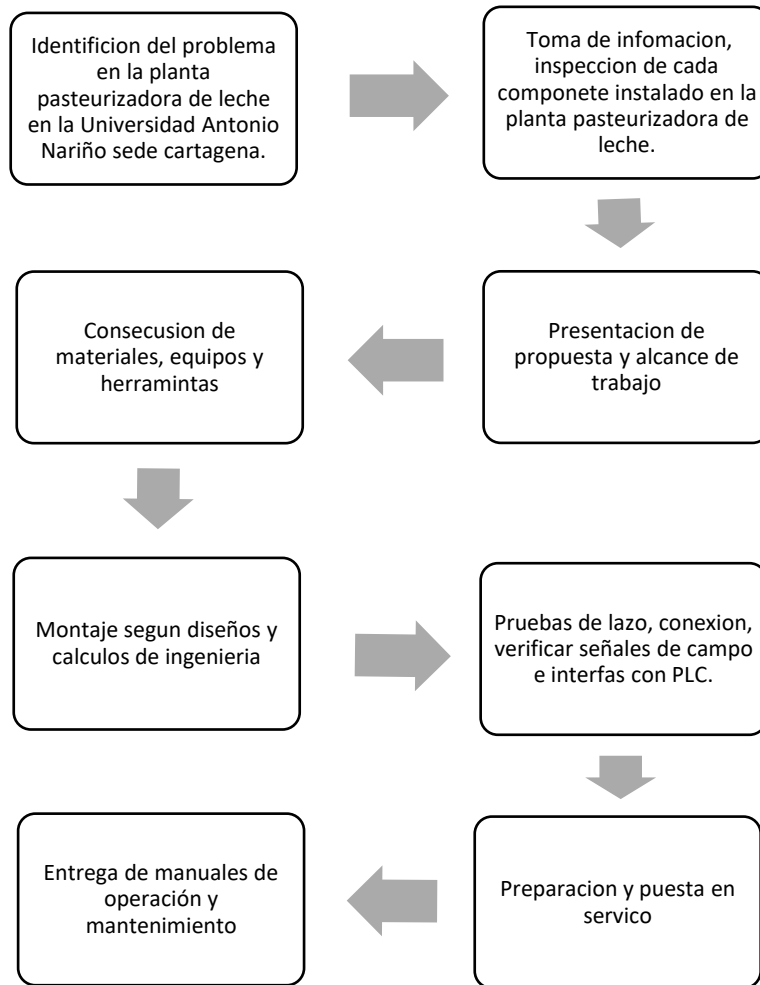
de control de nivel de agua de la caldera de servicio, mantenimiento general a las partes mecánicas, como bomba, intercambiadores de calor, agitadores, válvulas, conexiones eléctricas, entre otros.

- Elaboración y entrega de los manuales de operación y mantenimiento que ayuden a preservar la planta en óptimas condiciones.

1.4 Metodología

La figura 1-2 muestra el proceso metodológico que se llevará a cabo para alcanzar los objetivos propuestos.

Figura 1- 2. *Procedimiento metodológico del proyecto*



Fuente: autores

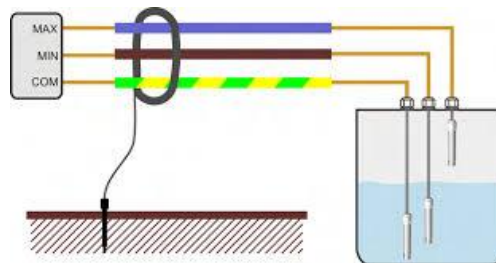
A continuación, se describe el proceso metodológico por etapas:

Etapa 1: Revisión y diagnóstico de la planta pasteurizadora: se realizó una visita de inspección a la planta pasteurizadora, en donde se revisó el estado de cada uno de los dispositivos y equipos instalados. Se probó su funcionamiento, determinando su estado funcional. Posterior a ello, se realizaron actividades de mantenimiento preventivo y correctivo a todos los componentes de la planta, se hizo desarme y armado y se empleó equipo especializado de prueba, entre ellos: calibrador de procesos, medidor de aislamiento, multímetro digital y mantenimiento correctivo de ser necesario.

Etapa 2: Se diseñó e implementará una estrategia de control de temperatura para el proceso de pasteurización de la leche, estableciendo lazos cerrados por retroalimentación controlando la temperatura entre 75 y 80 grados centígrados requeridos para eliminar los agentes patógenos sin que la leche pierda sus propiedades nutritivas. La estrategia de control será implementada en un dispositivo PLC.

Etapa 3: Se diseñará e implementará un sistema de control de nivel del agua de la caldera de servicios, para esto se utilizará una electrosonda la cual gobierna tres electrodos y estos a su vez el control del líquido (ver figura 1-3).

Figura 1- 3. Control de nivel por electrosonda



Fuente: www.arxiu.disibeint.com

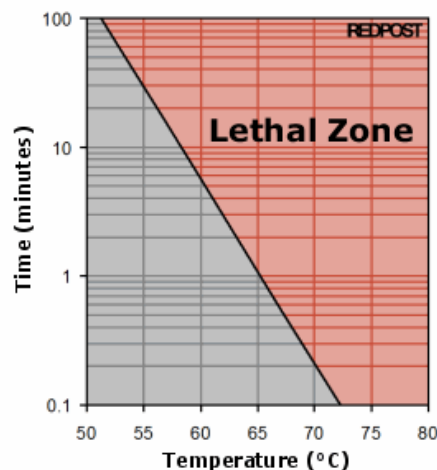
Etapa 4: En esta fase se construyó el manual de operación, mantenimiento y seguridad de la planta pasteurizadora de leche.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Pasteurización

De la pasteurización podemos decir que es un procedimiento desarrollado por el químico, físico, matemático y bacteriólogo francés Luis Pasteur en 1864 cuyo objetivo principal es eliminar los agentes patógenos de los alimentos sin que estos pierdan sus cualidades nutritivas. Este científico notó que, exponiendo los alimentos por un tiempo determinado a altas temperaturas, los agentes desaparecían y las características de este no cambiaban. Dicho proceso de pasteurización se da realizando una transferencia de calor hacia el producto a tratar hasta alcanzar cierta temperatura por un espacio de tiempo determinado. Cabe resaltar que esta temperatura va a depender del producto que se esté tratando pues dependiendo de sus características estos son más o menos propensos al crecimiento de agentes patógenos. Al llegar el calentamiento a dicha temperatura está se deberá mantener el tiempo requerido según el proceso de pasteurización que se esté utilizando. Este tiempo al igual que le temperatura también varia para cada producto. Para almacenar el producto ya correctamente pasteurizado, se debe someter a una disminución de su temperatura para eliminar patógenos restantes.

Figura 2- 1. Grafica de la zona donde los microorganismos desaparecen. Temperatura vs Tiempo



Fuente: <https://www.redpostltd.com/support/science>

La diferencia que este proceso tiene con la esterilización acá no intenta eliminar todos los microorganismos del producto. Su meta principal es reducir el número de elementos generadores de enfermedades de tal forma no afecten la salud de los consumidores, claro está esto teniendo en cuenta que el producto se almacenará de la forma apropiada y se respetará su fecha de vencimiento. La esterilización de alimentos en la industria no es común porque este proceso les quita atributos naturales a estos como sabor o textura.

2.2. Tipos de pasteurización

En la actualidad podemos decir que todo proceso productivo debido a las altas demandas de producción y a la competencia en los mercados ha sufrido cambios buscando hacerlos muchos más productivos, por ende, la pasteurización también ha sufrido cambios buscando convertirla en un proceso más rápido y confiable. Se debe tener como premisa que el producto no puede estar expuesto por largo tiempo a altas temperaturas ya que está comprobado que el producto pierde atributos como vitaminas, textura o sabor. (Moreno Galindo, 2013).

El consumo y la legislación son los factores más importantes que motivan a encontrar nuevas técnicas de pasteurización. Según el país, la legislación sobre aspectos como el contenido de grasa o pH cambian. El consumo de la población cambia según los aspectos de la sociedad que se va a explorar. Aspectos como la energía eléctrica, el clima o el dinero determinan que nuevos procedimientos deben estudiarse para generar un avance en la materia.

Todo esto ha provocado que en la actualidad existen tres tipos de procesos los cuales son: pasteurización a altas temperaturas durante un breve periodo de tiempo (HTST del inglés.: High Temperature/Short Time), el proceso a ultra-altas temperaturas (UHT - igualmente de Ultra-High Temperature) y por último la Tipo Batch (LTLT Baja temperatura en largo tiempo).

2.2.1. Pasteurización HTST

La pasteurización HTST (High Temperature short time) es aquella donde se requiere que el producto se someta a temperaturas entre 70-75°C por tiempos de 15 a 30 segundos dependiendo de su tipo. Los estándares para esta pasteurización de leche se crearon en Estados Unidos en 1933 y definen que la temperatura debe ser de 71.7°C a 15 segundos para el aumento en la eliminación de las bacterias.

La pasteurización HTST se denomina de esta forma porque se debe someter a una alta temperatura para la eliminación de los agentes patógenos, una vez alcanzada se mantiene por un corto tiempo después del cual se disminuye rápidamente la temperatura. La corta duración del producto a altas temperaturas se sostiene mediante la utilización de tuberías por las cuales se hace recircular el producto en ese estado.

Durante el mantenimiento del producto a las altas temperaturas se da lugar a la eliminación de microorganismos que afectan la salud humana. Una vez terminada la eliminación de microorganismos indeseados, el choque térmico asegura que en el producto no crezcan residuos bacterianos durante el almacenamiento de este.

La mayoría de la planta en donde se desarrollan los procesos de pasteurización hacen la transferencia de calor al producto tratado por medio de un intercambiador de calor. Este dispositivo, que será explicado más adelante, usa un medio que puede ser calefactor o refrigerante para subir o bajar la temperatura del producto a tratar. Según la disposición de dicho dispositivo, el producto puede llegar a la misma temperatura que el medio, dándose una alta eficiencia en el proceso. Este tipo de pasteurización es la que tiene lugar en la planta a estudiar.

2.2.2. Pasteurización tipo UHT

La pasteurización UHT (Ultra-high Temperature) realiza la esterilización de cualquier alimento debido al gran calentamiento por un periodo extremadamente corto a muy altas temperaturas (de 1 a 2 segundos a una Temperatura >134°C) a la cual es sometido el

producto tratado. Se conoce que a estas temperaturas se destruyen las esporas que tiene la leche. La destrucción de las esporas determina que la reaparición de las bacterias sea imposible, y que de esta forma la leche obtenida tenga menos riesgo de contaminarse.

La gran ventaja de los productos tratados bajo UHT es que al ser correctamente empacados pueden permanecer en buenas condiciones durante meses sin que las bacterias puedan crecer a temperaturas ambiente. Gracias a esto una vez tratado estos productos con este tipo de pasteurización hace que estos productos no requieran de refrigeración y que puedan durar sin ser abiertos meses. Debido a esto cada vez más en todo el mundo ha surgido la iniciativa por ir cambiándose a este tipo de procesamiento pues al no utilizar refrigeración para la conservación de dichos alimentos disminuye el impacto ambiental y económico generado por tener que refrigerar dichos alimentos.

2.2.3 Pasteurización tipo Batch

La pasteurización por Batch o lotes es un método que consiste en calentar la leche entre 62 – 64°C durante un lapso de 30 minutos. Esta operación se realiza en recipientes de capacidad variable entre 200 – 1500 litros, construido en material de acero inoxidable de doble camisa, para hacer pasar vapor o agua caliente entre ellas y así calentar la leche. El recipiente debe estar provisto de un agitador con el fin de homogenizar la temperatura de pasteurización (Nasanovsky, 2019).

2.3 Mantenimiento industrial

En la actualidad el mantenimiento industrial hace parte fundamental para el correcto funcionamiento de toda empresa de ámbito industrial ya que impacta repercute directamente en su proceso productivo. Se trata de un aspecto muy importante para tener en cuenta en el desarrollo de cualquier proceso de producción sea cual sea el sector de actividad al que se dedique la empresa. (Seguas, 2023)

Como definición para el mantenimiento podemos decir que es el conjunto de actividades necesarias para lograr un óptimo funcionamiento tanto de instalaciones, maquinaria y equipos como de las instalaciones locativas que componen dichas instalaciones industriales. Incluye también los trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el buen funcionamiento y estado de los sistemas productivos.

El objetivo macro para realizar un buen mantenimiento industrial es garantizar la producción en cualquier proceso industrial, con altos índices de calidad y a su vez garantizando mantener un correcto funcionamiento de los equipos durante toda su vida útil.

El mantenimiento puede ser considerado una inversión, que genera grandes beneficios los cuales enunciamos a continuación:

- Prevención de accidentes laborales y condiciones inseguras lo cual aumenta así los niveles de seguridad para los operadores que intervienen en el proceso de producción.
- Eliminación de tiempos de paro disminuyendo las pérdidas por paradas de la producción.
- Te permite gestionar a través de la documentación y hacer seguimientos de los mantenimientos necesarios para cada equipo.
- Disminuye y elimina los daños catastróficos en tus instalaciones industriales.
- Aumenta la vida útil de tus equipos
- Reduce costos
- Conserva los bienes de equipo en buenas condiciones
- Mejora la calidad de tu actividad industrial.

2.3.1. Tipos de mantenimiento

De manera general podemos clasificar en 3 grandes tipos el mantenimiento desarrollado a nivel industrial:

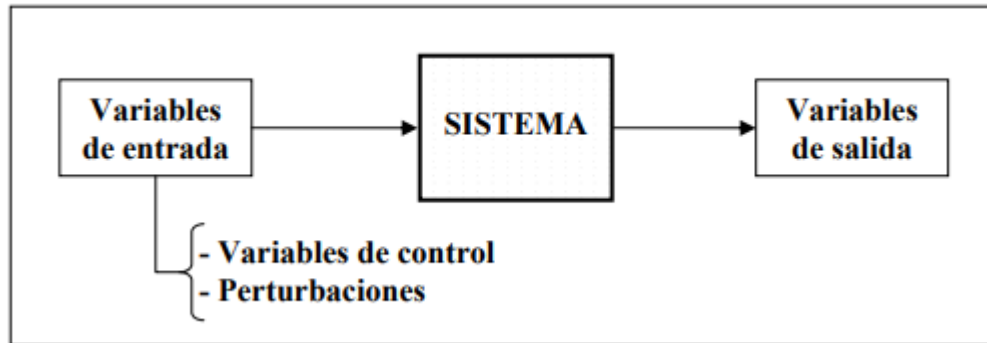
- **Mantenimiento preventivo.** Sobre este tipo de mantenimiento realizado en la industria podemos decir que es aquel enfocado a disminuir los de fallos en los equipos e instalaciones disminuyendo los riesgos para los trabajadores y la producción. En él se genera una planificación de las actividades de mantenimiento con frecuencias determinadas según la necesidad de cada proceso.
- **Mantenimiento correctivo.** Este tipo de mantenimiento es el que se aplica cuando solo se está enfocado en la corrección de fallas o avería presentadas durante la operación en las instalaciones industriales. Es reactivo, no previene por tanto es el menos eficiente de los tres.
- **Mantenimiento predictivo.** Es entre todo el mejor mantenimiento pues es el más técnico y avanzado. Requiere de formación específica, conocimientos analíticos, utiliza equipos de medición y monitoreos especiales que ayudan a predecir las fallas. Al igual que el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo busca predecir las averías. Estos se diferencian en la utilización de herramientas o técnicas de medición de distintas variables asociadas a las condiciones del equipo y que anticipan una futura falla ya sea como la temperatura, la vibración entre otras.

2.4. Sistemas de control

Un sistema de control es aquel sistema que administra variables de entradas y salidas con el fin de obtener los resultados esperados, está formado por un conjunto de dispositivos de diverso orden. Pueden ser de tipo eléctrico, electrónico, mecánico, entre otros. Estos dispositivos están determinados, en buena medida, por el objetivo a alcanzar.

VARIABLES DE CONTROL, que se pueden manipular y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control. La Figura 2-5 ilustra de un modo conceptual el funcionamiento de un sistema.

Figura 2- 2: *Esquema general de un sistema.*



Nota: imagen tomada del libro sistemas de control capítulo 2

Fuente: Lacayo (2013).

Al hablar de los sistemas nos encontramos con la definición sistema de control. Un sistema de control es aquel sistema que se caracteriza por contar con una serie de elementos que permiten determinar el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es poder tener una variable de salida controlada mediante la manipulación de las variables de control buscando cumplir con los valores setados de estas

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

- Ser lo más estable posible, dando confianza que los resultados para lo cual fue diseñado se obtienen con las más mínimas perturbaciones y errores.
- Ser lo más eficiente posible, según el tipo usado.
- Ser de fácil manipulación y amigable a la hora de su operabilidad en tiempo real con ayuda de un ordenador o pc.

Dichos sistemas de control pueden clasificarse como sistemas de control de lazo abierto y sistemas de control de lazo cerrado. (Ogata, 2010)

2.4.1. Sistemas de control de lazo abierto

Son aquellos sistemas donde no se realiza una medición a la variable de salida, el resultado obtenido de esta en ningún instante determina las acciones que se tomen para determinarla careciendo de una retroalimentación. El éxito de dicho control está determinado por la calibración que se realice a los instrumentos y elementos que en el intervenga.

Dicho de otras palabras el control en lazo abierto se usa en dispositivos donde no se requiere controlar la salida como se muestra en la figura 2-3. Por ejemplo, el control de un ventilador domestico donde no se toma la cantidad de flujo de aire de salida y se compara con el voltaje de entrada.

Figura 2- 3: *Esquema lazo de control abierto*



Fuente: Perez (2007).

2.4.2. Sistemas de control de lazo cerrado:

Los sistemas de control de lazo cerrado son ampliamente utilizados en una variedad de industrias para regular y controlar procesos automatizados. Un sistema de control de lazo cerrado, también conocido como sistema de control de realimentación, utiliza una señal de retroalimentación para comparar el resultado deseado con el resultado actual y ajustar

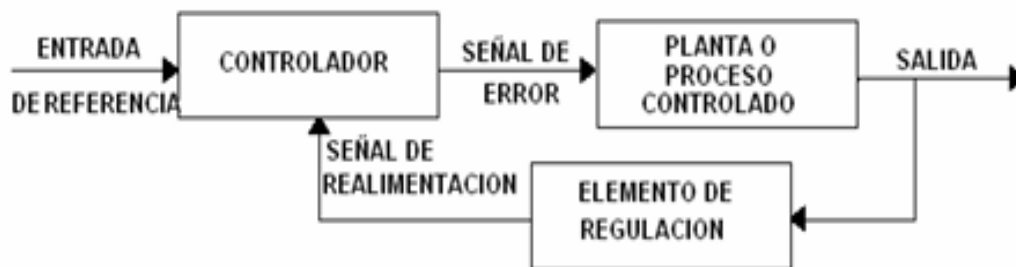
el proceso en consecuencia. Esto permite una mayor precisión y estabilidad en comparación con los sistemas de control de lazo abierto.

En un sistema en lazo cerrado se puede colocar un medidor y transmisor de temperatura que realimente el sistema hacia el controlador y mantenga de esa forma la temperatura en su lugar deseado.

Este valor deseado se conocerá como el Setpoint y será el único valor que será modificado por el operario. Estos sistemas de control son clasificados como sistemas con retroalimentación o feedback.

Un ejemplo es la planta pasteurizadora de leche proyecto en mención el cual tiene un control de temperatura por retroalimentación el cual verifica la diferencia entre la temperatura deseada y la temperatura actual, y ajusta el proceso en consecuencia para lograr una mayor precisión y estabilidad.

Figura 2- 4: Esquema lazo de control cerrado



Fuente: Perez (2007).

2.4.3. Elementos básicos de un sistema de control

Para poder cumplir con esos objetivos dichos nuestro sistema para el control automáticos contará con elementos básicos los cuales se describirán a continuación:

- **Sensor:** Es aquel instrumento que está en contacto directo con la variable física o química, la toma y permite su interpretación a valores de interpretables con los transductores permitiendo como tal la medición.
- **Transmisor o transductor:** es el encargado de traducir la señal recibida por el sensor a un lenguaje digital o analógico.
- **Controlador:** Es el cerebro del sistema, recibe la señal de la variable medida y calcula la acción de control para llevarla al valor seteado
- **Actuador:** Son los elementos que actúan sobre la variable manipulada.

2.5. Conceptos de ingeniería aplicados

El objetivo de esta sección es definir las teorías básicas de los equipos y dispositivos usados en el proyecto, sus datos técnicos para contextualizar al lector cuando lo identifique físicamente en el proyecto y pueda identificar las funciones que este tiene en la planta de pasteurización. Inicia con el concepto de los controladores lógicos programables, luego continua con todo lo relacionado a sensores de la planta y finaliza con los elementos finales del proceso o actuadores.

2.5.1. Controlador Lógico Programable (PLC)

Los “PLC” (Programmable Logic Controllers, por sus siglas en inglés) son equipos electrónicos que pueden controlar a través de una programación previa cargada en su memoria cada una de las actividades necesarias para el control del proceso. Un PLC es considerado como un cerebro electrónico que acciona a otros componentes, de su maquinaria para que ejecuten acciones controladas que de hacerse de manera manual pudieran ser peligrosas o poco productivas.

También son llamados como “una caja negra” que tiene unos terminales de entrada a los que se les conectarán pulsadores, finales de carrera, foto celdas, sensores, etc.... unos terminales de salida a los cuales se les conectarán bobinas los actuadores de proceso como contactores, leds pilotos, electroválvulas etc. de tal forma que la actuación de estos

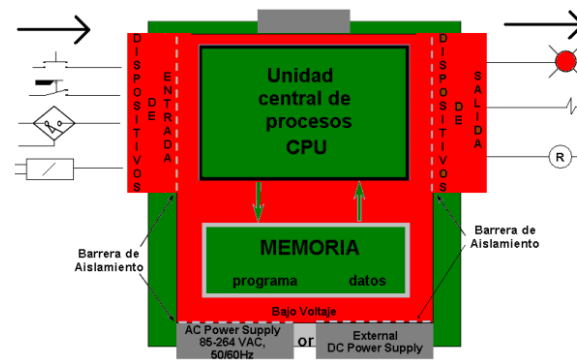
últimos dependerá de las órdenes del programa almacenado en la memoria interna. Dichas acciones tomadas por el plc se darán luego de comparar las señales que obtengas a través de los sensores de las variables monitoreadas y los sets points setados para el proceso.

La tarea del usuario se reduce a realizar el programa que no es más que la relación entre las señales de entradas que se tienen que cumplir para activar cada salida.

Los PLC's como se puede observar en la imagen 2-5 los podemos dividir para su estudio en cuatro partes importantes:

- ✓ Unidad central de procesos.
- ✓ Módulos de entradas y salidas.
- ✓ Interfaz de comunicación.
- ✓ Fuente de alimentación

Figura 2- 5: Partes de un plc



Fuente: LIBRO_Automatizacion.pdf

2.5.1.1. PLC S7 1200

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. La CPU incorpora un

microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador.

Figura 2- 6: *Plc siemens s7 1200.*



Fuente: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ww/catalog/products/10045652>

Después de haberse cargado el programa en la, esta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU monitorea continuamente las entradas y conmuta cambia el estado de las salidas según la lógica que ya se ha programado por el usuario. Este puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Adicional también tiene disponibles módulos adicionales para la comunicación en redes PROFIBUS, GPRS, RS485 o RS232.

La referencia utilizada en este proyecto es el CPU 1214C DC/DC/RLY el cual consta de:

- 2 entradas análogas
- 14 entradas digitales
- 10 salidas digitales
- Memoria de trabajo de 75 KB
- 4 Mb en la memoria de carga
- 10 Kb para memoria remanente.
- Capacidad de uso de 8 módulos expandibles

2.5.1.2. Módulo de expansión para entradas analógicas

Módulo de expansión para PLC S7 1200 6ES7231-4HD32-0XB0 dotado con 4 entradas analógicas, alimentación a 24 v con señal de entrada en corriente en un rango de 4 a 20 mA para mayor ilustración ver figura 2-7.

Figura 2- 7: *Modulo entradas análogas sm 1231*



Fuente: Hoja de datos del módulo de entradas analógicas SM 1231, consultado en línea, Siemens, 2023¹

2.5.2. Sensores

Un sensor es un dispositivo que está instalado en los procesos en contacto directo con la variable medida, capaz de convertir dichas variables o magnitudes físicas a valores medibles, generalmente los valores medibles son señales eléctricas.

La forma de comúnmente usada para codificar una señal analógica en la industria es en niveles tensión de 0V – 10V o en un rango de intensidad de corriente de 4mA a 20mA, mientras que para una señal digital se codifica por pulsos en estado ON-OFF o número codificado en binario.

Dentro de las características básicas de los sensores se evalúan las siguientes:

¹ <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7231-4HD32-0XB0>

- ✓ **Rangos de medición:** comprende los valores máximos y mínimos capaces de medir.
- ✓ **Exactitud de medida:** La desviación absoluta o porcentual del sensor comparada con una señal de entrada conocida.
- ✓ **Sensibilidad:** Relación directa entre el cambio que presenta la salida frente a cambios en la entrada.
- ✓ **Resolución:** mínimo cambio absoluto detectable que presenta la medida.

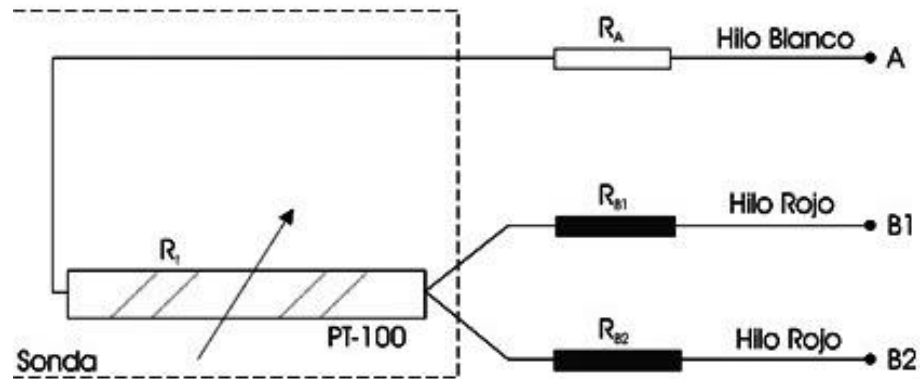
Los elementos de medición constan al menos de las siguientes etapas:

- ✓ **Elemento sensor o captador:** Convierte las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica (señal).
- ✓ **Tratamiento de la señal:** Si existe, realiza acondicionamientos a la señal detectada como filtrada, a fin de eliminar ruidos captados por la etapa de detección.
- ✓ **Etapas de salida:** En esta etapa están los circuitos necesarios para poder amplificar la señal y su acondicionamiento final a la señal eléctrica estándar la cual será leída por otros dispositivos capaces de procesarla.

2.5.2.1. **Sensor de temperatura**

Los sensores de temperatura son componentes eléctricos y electrónicos que, en calidad de sensores, permiten medir la temperatura de una superficie, ambiente o producto mediante una señal eléctrica determinada. Dicha señal puede enviarse directamente o mediante el cambio de la resistencia. También se denominan sensores de calor o termos sensores. En la figura 2-8 se muestra el diagrama básico de un sensor de temperatura PT-100. En la figura 2-8 muestra el diagrama básico de un sensor de temperatura PT-100, quien es una resistencia de platino que varía su impedancia con el aumento o reducción de calor.

Figura 2- 8: Sensor de temperatura PT 100 de 3 hilos



Fuente: Contaval. (2018).

2.5.2.2. Sensor de pH

En la figura 2-9 podemos ver el sensor de pH marca Meter Toledo, este es un detector inteligente que a su vez mide la temperatura presente en el fluido, el conjunto transmisor y sensor son los usados actualmente en la planta de pasteurización.

Figura 2- 9: Medidor de pH



Fuente: Autores

2.5.2.3. Sensor de nivel

En la figura 2-10 se ilustra un transmisor de presión manométrica, el cual es usado en la planta para la medición de nivel por medio de la columna de líquido, dicha medición se da en unidades estándar de inH₂O.

Figura 2- 10: *Medidor de nivel*



Fuente: Autores

2.5.3. Actuadores

En la figura 2-11 se ilustran los actuadores industriales, los cuales son dispositivos capaces de transformar una energía suministrada ya sea hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de provocar una acción o efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula (Revenga, 2012).

Entre los principales tipos de actuadores tenemos:

- Electrónicos
- Hidráulicos
- Neumáticos
- Eléctricos

Figura 2- 11: *Actuadores industriales*



Fuente: Actuadores (elementos finales).(2018).

2.5.3.1. **Bombas sanitarias**

Las bombas sanitarias son construidas en material de acero inoxidable, diseñadas para aplicaciones en el manejo de alimentos, productos farmacéuticos, de los que se destacan como la leche, yogurt, la industria de bebidas, entre otros. En la siguiente figura se ilustra una bomba de este tipo (Alfa de Occidente, 2019).

Figura 2- 12: *Bombas sanitarias*



Fuente: Autores

2.5.3.2. Resistencias de calefacción

La resistencia eléctrica son elementos se opone al paso de la corriente eléctrica en un circuito eléctrico cerrado y la disipa en forma de calor, cuando un elemento más se opone en un circuito, su magnitud física se evalúa en Ohm (Ω).se aprovecha este principio para la calefacción del agua de la caldera, en la imagen siguiente se aprecia las resistencias de calefacción.

Figura 2- 13: *Resistencias de calefacción*



Fuente: dsiservicios.com

2.5.3.3. Válvulas solenoide o Electroválvula

Son dispositivos electromecánico o electroimán que se componen de una bobina, vástago, núcleo de cierre y cuerpo de la válvula, que responde a pulsos eléctricos dado que a la circular corriente por la bobina genera un campo magnético que atrae al núcleo móvil y este bloquea o permite el paso del fluido por el conducto de la válvula, diseñados para controlar el flujo (ON-OFF) de un fluido, en la siguiente figura se detalla un solenoide y sus partes. (Distritec, 2019)

Figura 2- 14: *Válvula Solenoide*



Fuente: Autores

2.5.3.4. Electrosonda

La principal función de una electrosonda de nivel es detectar la resistencia del líquido en la unidad de control, el cual lo hace vigilando a través de sondas apropiadas para ello en la industria. En otras palabras, dicho controlador interpreta las señales de los electrodos, que están colocados en la cisterna, en el tanque o en un pozo; emitiendo una señal de voltaje que viaja entre dichos electrodos a través del agua, la cual se interpreta como ausencia o exceso de líquido. Normalmente se cuentan con diferentes sondas que activan y desactivan el relé de acuerdo con el nivel del agua.

Figura 2- 15: *Electrosonda*



Fuente: Amazon.co

3.1.1. Características del pasteurizador

Un pasteurizador por lo general debe construirse en material de acero inoxidable por manejar un producto alimenticio como lo es la leche, esto en cuanto a todos los elementos que están en contacto directo con el producto. En cuanto a equipos necesita instrumentos como sensores y actuadores mínimos para su correcto funcionamiento, operación y de control. Dentro de los equipos que están instalados en la planta pasteurizadora están los siguientes:

3.1.2. Equipos de almacenamiento

Para el almacenamiento de materia prima, productos y fluidos de proceso, el proceso cuenta con 4 tanques con capacidad de 40L cada uno. Su descripción la podemos observar en la tabla 1

Tabla 1: *Equipos de almacenamiento*

Equipo	TAG	Función
Tanque de Almacenamiento	TK-01	Almacenamiento de leche cruda
Tanque de Almacenamiento	TK-02	Almacenamiento de leche pasteurizada
Tanque de Almacenamiento	TK-03	Almacenamiento de agua para enfriamiento de leche pasteurizada
Tanque de agua para la caldera	TK -04	Almacenamiento de agua para reponer nivel de la caldera

Fuente: Autores

3.1.3. Equipos de calentamiento

Estos equipos se describen en la tabla 2, están destinados para aumentar la temperatura del agua de calentamiento, la cual a su vez elevará la temperatura de la leche cruda para su pasteurización.

Tabla 2: *Equipos de calentamiento*

Equipo	TAG	Función
Intercambiador	E-01	Intercambiador de placas planas calentador de leche
Intercambiador	E-02	Intercambiador de placas planas de sostenimiento de calefacción
Intercambiador	E-03	Intercambiador de placas planas precalentador
Caldera	HB-01	Recipiente para el almacenar agua de calentamiento

Fuente: Autores

3.1.4. Instrumentos de medición de la planta

Los sensores presentes en la planta permiten medir y monitorear las variables de interés en las distintas etapas de la planta. Dentro estos instrumentos están:

Tabla 3: *Sensores*

Equipo	TAG	Función
Sensor de temperatura	TE-01	Medición de temperatura del agua de calefacción
Sensor de temperatura	TE-03	Medición de temperatura de leche pasteurizada en la salida E-01
Sensor de temperatura	TE-04	Medición de temperatura de leche pasteurizada en la salida E-02
Sensor de temperatura	TE-05	Medición de temperatura del TK-02

Sensor de nivel	LT-01	Medición de nivel del TK-02
Sensor de pH	AIT-01	Indicación de pH en el TK-02

Fuente: Autores

3.1.5. Actuadores planta

Los actuadores presentes en la planta permiten el transporte de los fluidos a través de las tuberías, su calentamiento, agitación y direccionamiento hacia distintas etapas del proceso de pasteurización. Estos elementos se describen en la siguiente tabla:

Tabla 4: Actuadores

Equipo	TAG	Función
Bomba	P-01	Transporte de la leche cruda
Bomba	P-02	Recirculación de agua caliente
Bomba	P-03	Bomba de llenado agua caldera
Bomba	P-04	Recirculación del agua de enfriamiento
Válvula solenoide	SV-01	Direccionar leche hacia tanque pasteurizador
Válvula solenoide	SV-02	Direccionar leche hacia recirculación
Resistencias de calentamiento	R-1 R-2 R-3	Calefacción de agua en caldera
Agitador	AG-01	Homogenizado de leche en pasteurizador
Blower	B-01	Extractor de calor del agua de enfriamiento

Fuente: Autores

A continuación, se describen los requerimientos ingenieriles que constituyen el objeto de estudio del presente proyecto.

3.1.6. Requerimientos de control y monitoreo de temperatura

Siendo la temperatura la variable principal de la planta de pasteurización se exponen a continuación los puntos críticos donde se requiere monitorear y controlar esta variable, la tabla 5 describe el punto de medición, las etiquetas, los rangos operativos, el Set-Point y el tipo de variable que representa en la planta:

Tabla 5: *Puntos de medición de temperatura*

Punto de medición	Rango operativo	Set-Point	Tipo de variable
Intercambiador de sostenimiento	70 – 85 °C	78°C	Controlada
Salida de leche del intercambiador de sostenimiento	65 – 77 °C	72°C	Medida
Tanque de almacenamiento de leche pasteurizada	20 – 35 °C	25°C	Medida

Fuente: Autores

3.1.7. Monitoreo de pH y nivel del tanque de leche pasteurizada

La siguiente tabla muestra la etiqueta de los instrumentos monitoreados, los valores de Set-Point y el tipo de variable correspondiente.

Tabla 6: *Monitoreo de pH y de nivel*

Punto de medición	TAG	Rango operativo	Set-Point	Tipo de variable
Tanque de almacenamiento	AIT-01	0 – 14pH	6.5	Medida
Tanque de almacenamiento	LT-01	0-95%	95%	Medida

Fuente: Autores

3.2. Especificaciones técnicas e ingenieriles

Los requerimientos técnicos e ingenieriles para este proyecto se describen las limitaciones y las principales características de los equipos:

Tabla 7: Especificaciones técnicas equipos planta

Equipo	TAG	Descripción
Caldera	HB-01	Calentador de agua caliente hasta 110°C
Intercambiador de Precalentamiento.	E-03	Área de transferencia de 3.9m ²
Intercambiador de Calentamiento.	E-01	Área de transferencia de 4.9m ²
Intercambiador de Sostenimiento.	E-02	Área de transferencia de 5.9m ²
Tanque para leche Cruda.	TK-01	Tanque cilíndrico de 40 L
Tanque para leche Pasteurizada	TK-02	Tanque cilíndrico de 40 L
Tanque reposición nivel agua calderas	TK-03	Tanque cilíndrico de 29 L
Tanque de enfriamiento	TK-04	Tanque cilíndrico de 40 L
Bomba para leche Cruda.	P-01	Bomba de 1HP con 30L/min
Bomba para agua Caliente.	P-02	Bomba de 1HP con 30L/min

Transductor de nivel del Tanque para leche Pasteurizada	LT-01	Transductor de presión de 0 – 300" H2O
---	-------	--

Fuente: Autores

3.3. Selección del controlador lógico programable

Teniendo en cuenta el trabajo anterior de los compañeros Cristian Iriarte Miranda y Kevin José Orozco Miranda quedo evidenciado que el uso de un controlador lógico programable cumple con los requerimientos ingenieriles planteados anteriormente, en cuanto al número de actuadores, sensores e interfaz de usuario y al tipo de variables a monitorear.

3.3.1. Selección del PLC

Para ello se relaciona el equipo que actualmente tiene instalado la planta y otros 2 disponibles en el mercado:

Tabla 8: Características de diferentes fabricantes de plc

Característica	PLC AB Micro Logix 1100	PLC Siemens S7-313C	PLC Siemens S7-1200
No. E/S análogas	2*0-10V/0	5/2	2/0
No. E/S digitales	10/6	24/16	14
Tipo de comunicación	Profinet/RS-485	PG/OP- RS 485	Ethernet Profinet
Memoria de Trabajo	64KB	64KB	75KB
Memoria de carga	-	8 Mb	4 Mb
Software amigable	Compact logix	Tía portal/Simatic S7	Tía portal/Simatic S7
Marca reconocida	Si	Si	Si

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se decide realizar el cambio del plc que estaba instalado referencia siemens S7-313C por un siemens S7 1200 pues al ser un equipo más actualizado cuenta con el protocolo de comunicación Ethernet, requerimiento básico para la ejecución de un proyecto de grado llamado Desarrollo de un sistema IOT DE MONITOREO DE TEMPERATURA PARA UN PASTEURIZADOR DE LECHE que se adelanta actualmente por los compañeros Remberto Silgado Ortiz y Julián Prieto madero el cual consiste en realizar un monitoreo de las variables críticas del proceso y llevar esa información a una nube.

3.3.2. Selección del módulo de entradas analógicas

Actualmente para garantizar el buen funcionamiento de la planta pasteurizadora de leche es necesario poder procesar 4 señales analógicas las cuales son:

- La temperatura medida al agua en la caldera
- La temperatura medida a la de leche pasteurizada
- La temperatura medida a la leche en el tanque pasteurizador.
- La medición del nivel del tanque de pasteurización.

El PLC Siemens S7 1200 solo tiene dos entradas analógicas, por lo que fue necesario incorporar el módulo de cuatro entradas analógicas Siemens SM 1231 (6ES7231-4HD32-0XB0) cuyas características principales:

- Alimentación a 24V
- Rango de señal de entrada de 4 a 20 mA
- Protección IP 20
- 4 entradas de señales analógicas

Ya incorporado este equipo en conjunto con el PLC se puede recibir la información enviada por los traductores de temperaturas, las pt 100 y el transductor de presión, interpretar y tomar acciones para mantener las variables de acuerdo con los sets point requeridos para garantizar la estabilidad de proceso de pasteurización.

3.4. Evaluación del estado de la planta

Cumpliendo con el primer objetivo del presente proyecto al realizar la inspección inicial de la planta se observó que se encontraba en muy mal estado con signos de abandono, se sacó un listado de 24 equipos entre componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que necesitaban intervención pronta para poder a trabajar la planta para lo cual se procede con el desarmado completo de esta intervención por parte de nosotros. Ver figura 3-2

Figura 3- 2. Evidencias de equipos en mal estado



Fuente: Autores

En el caso de los componentes mecánicos se observa que la bomba a utilizar en el circuito de alimentación para agua para la caldera se encontraba pegada con los rodamientos referencia 6201 2Z C3 en mal estado, adicional los intercambiadores de calor, los interiores de las electroválvulas y tuberías bastante sucios.

Para la parte eléctrica e instrumentación notamos que los sensores de temperatura no estaban operativos por estar desconectados y con ausencia de los transmisores, el cableado de la planta bastante desordenado y algunas conexiones sueltas.

La superficie en general de la planta mostraba un aspecto de deterioro en cuanto, a pintura, y suciedad lo que sumado a los equipos con falta de mantenimiento justificó nuestra intervención sobre el equipo en general.

A continuación, se muestra una tabla general del estado de los equipos:

Tabla 9. *Estado general de equipos.*

Nombre	Código	Estado	Aprobó/no aprobó
Tanque de almacenamiento 1	TK- 1	OK	APROBÓ
Tanque de almacenamiento 2	TK- 2	OK	APROBÓ
Tanque de almacenamiento 3	TK- 3	OK	APROBÓ
Tanque de almacenamiento 4	TK- 4	OK	APROBÓ
Bomba de leche cruda	P-01	OK	APROBÓ
Bomba de Agua Caliente	P-02	OK	APROBÓ
Bomba de enfriamiento	P-03	OK	APROBÓ
Bomba de reposición de nivel	P-04	NO OK	NO APROBÓ
Intercambiador de calor 1	E-01	NO OK	NO APROBÓ
Intercambiador de calor 2	E-02	NO OK	NO APROBÓ
Intercambiador de calor 3	E-03	NO OK	NO APROBÓ
Caldera	HB-01	OK	APROBÓ
Sensor de temperatura	TE-01	NO OK	NO APROBÓ
Sensor de temperatura	TE-04	NO OK	NO APROBÓ
Sensor de temperatura	TE-05	NO OK	NO APROBÓ
Sensor de nivel	LT-01	OK	APROBÓ
Sensor de pH	AIT-01	OK	APROBÓ
Válvula solenoide	SV-01	OK	APROBÓ
Válvula solenoide	SV-02	OK	APROBÓ
Resistencias de calentamiento	R-1	OK	APROBÓ
Resistencias de calentamiento	R-2	OK	APROBÓ
Resistencias de calentamiento	R-3	OK	APROBÓ
Tablero de control	TCP-1	NO OK	NO APROBÓ
Tablero de fuerza	TFP-1	OK	APROBO

Fuente: Autores

3.5. Mantenimiento de equipos del proceso

Ya conociendo los tipos de mantenimientos existentes de manera general se detalla en la tabla 9 los equipos que fueron intervenidos y que tipo de mantenimiento le fue realizado para dejarlo en óptimas condiciones de operación:

Tabla 10: *Equipos intervenidos para mantenimiento*

Ítem	Nombre	Código	Función	Tipo de mantenimiento
1	Tanque de almacenamiento 1	TK- 1	Almacenamiento de la leche cruda	Preventivo
2	Tanque de almacenamiento 2	TK- 2	Almacenamiento de la leche Pasteurizada	Preventivo
3	Tanque de almacenamiento 3	TK- 3	Recirculación del agua de enfriamiento	Preventivo
4	Tanque de almacenamiento 4	TK- 4	Tanque reposición de nivel	Preventivo
5	Bomba de leche cruda	P-01	Transporte de leche cruda	Preventivo
6	Bomba de Agua Caliente	P-02	Recirculación de agua caliente	Preventivo
7	Bomba de enfriamiento	P-03	Recirculación del agua de enfriamiento	Preventivo
8	Bomba de reposición de nivel	P-04	Reposición de nivel	Correctivo
9	Intercambiador de calor 1	E-01	Intercambiador de placas planas calentador de leche	Preventivo
10	Intercambiador de calor 2	E-02	Intercambiador de placas planas de sostenimiento de calefacción	Preventivo
11	Intercambiador de calor 3	E-03	Intercambiador de placas planas precalentador	Preventivo
12	Caldera	HB-01	Recipiente para el almacenar agua de calentamiento	Preventivo
13	Sensor de temperatura	TE-01	Medición de temperatura del agua de calefacción	Correctivo
14	Sensor de temperatura	TE-04	Medición de temperatura de leche pasteurizada en la salida E-02	Correctivo
15	Sensor de temperatura	TE-05	Medición de temperatura del TK-02	Correctivo
16	Sensor de nivel	LT-01	Medición de nivel del TK-02	Preventivo
17	Sensor de pH	AIT-01	Indicación de pH en el TK-02	Preventivo
18	Válvula solenoide	SV-01	Direccionar leche hacia tanque pasteurizador	Preventivo
19	Válvula solenoide	SV-02	Direccionar leche hacia recirculación	Preventivo

20	Resistencias de calentamiento	R-1	Calefacción de agua en caldera	Preventivo
21	Resistencias de calentamiento	R-2	Calefacción de agua en caldera	Preventivo
22	Resistencias de calentamiento	R-3	Calefacción de agua en caldera	Preventivo
23	Tablero de control	TCP-1	Energiza el control del sistema	Preventivo
24	Tablero de fuerza	TFP-1	Energiza la potencia del sistema	Preventivo

Fuente: Autores

A continuación, se muestra evidencia de la intervención realizada por el equipo de trabajo a los componentes del sistema anteriormente mencionados.

Figura 3-2: Mantenimiento preventivo y correctivo de equipos planta.



Fuente: Autores

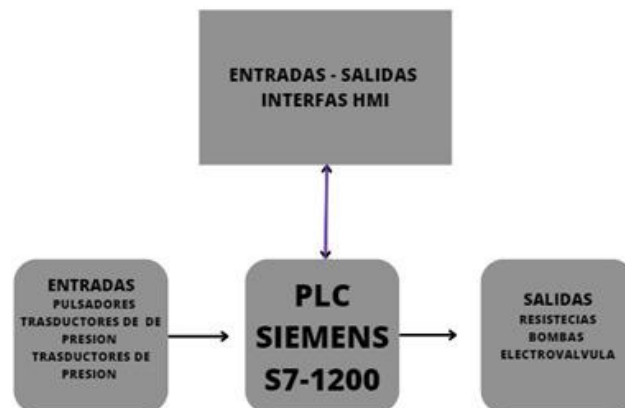
4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

El sistema de automatización y control a implementar se compone de los siguientes elementos:

- **PLC S7-1200** como dispositivo central de control. A continuación, se describen los puertos de E/S para el proyecto:
 - 3 entradas digitales correspondientes a la parada de emergencia (PE-01), botón de paro (S-02) y arranque local(S-03).
 - 10 salidas digitales para el control de varios actuadores (R1, R2, R3, P-01, P-02, P-03, SV-01, SV-02, AG-01, B-01).
- **Modulo entradas análogas SM1231**
 - 4 entradas análogas para la captación de los valores de temperatura de los sensores TE-01, TE-04, TE-05 y de nivel proveniente del sensor LT-01.
- **Cable Ethernet** para comunicar el plc con el swiche referencia Stratix 2000 de ALLEN -BRADLEY instalado en la planta por Silgado y prieto como requerimiento para el desarrollo de su proyecto.

Los instrumentos y dispositivos necesarios para las mediciones, dialogo entre el humano-controlador y equipos que ejecutan las acciones de control se muestran en la figura 4-1, los cuales son necesarios para todo el sistema de control de la planta.

Figura 4- 1: Diagrama de general de instrumentos asociados al PLC



Fuente: autores

4.1. Adquisición de Datos

La adquisición de datos del proceso de pasteurización se realiza a través de la medición de las variables de temperatura del agua de calentamiento, temperatura de la leche en el punto de salidas del intercambiador E-02, temperatura de leche en tanque TK-02 leche pasteurizada y Nivel de leche TK-02 leche pasteurizada con detectores termo resistivos (RTD pt100). Estos trabajando en conjunto con sus transmisores crean un lazo de corriente las cuales llegan al módulo de entradas analógicas. A continuación, se presentan los esquemas de conexión entre los instrumentos y el PLC.

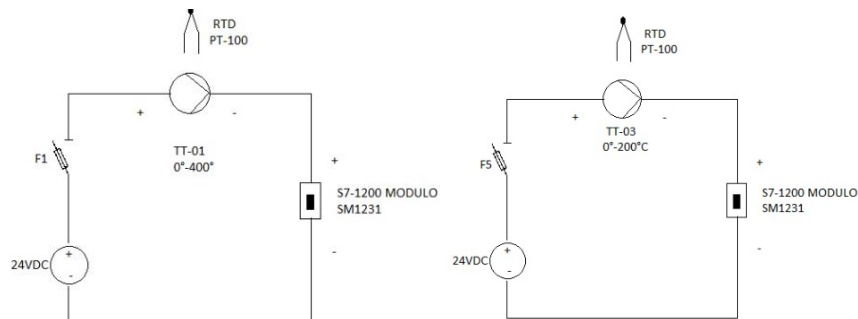
4.1.1 Lazos de corriente de sensores

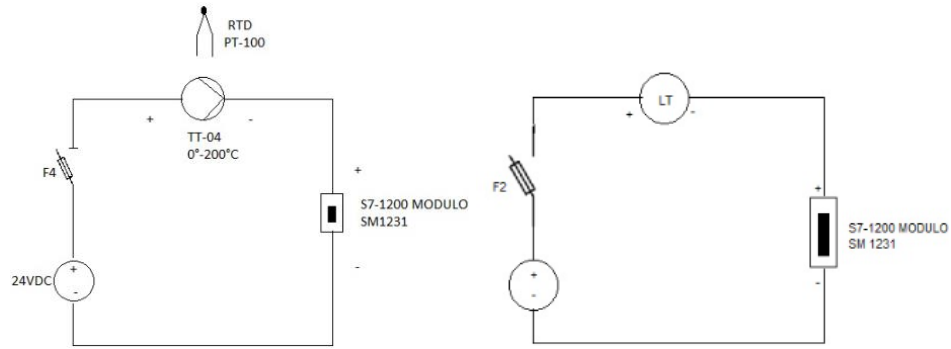
Los lazos de corriente de cada uno de los puntos específicos de medida se nombran a continuación:

- TT-01 medición de la temperatura del agua en la caldera.
- TT-04 medición de la temperatura de pasteurización de la leche.
- TT-05 medición de la temperatura de la leche en el tanque pasteurizador.
- LT-01 medición del nivel del tanque de pasteurización.

Los lazos de corriente de cada medida los conforman una fuente de alimentación, una porta fusible de 500 mA, el transductor de temperatura y el módulo de entradas analógicas, en la figura 4 -1 de detallan cada uno de ellos se manera respectiva.

Figura 4- 2: Diagrama lazo de control TT-01, TT-04, TT-05 y LT-01.





Fuente: Autores

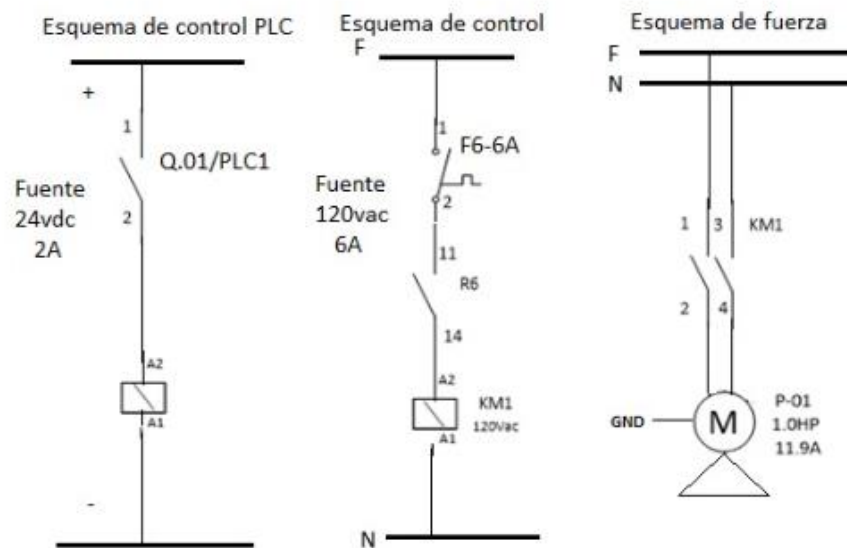
4.2. Diagrama de conexiones eléctricas de actuadores

A continuación, se describen los diagramas eléctricos de potencia y control de los actuadores de la planta.

4.2.1. Diagrama eléctrico de potencia y control P-01.

La figura 4-2 muestra el diagrama de control eléctrico de la bomba de impulsión de leche. La salida Q0.1 del PLC activa el relé 6 (R6), el contacto auxiliar R6 conmuta la bobina del contactor (KM1) y éste último acciona el motor de la bomba.

Figura 4- 3: Diagrama eléctrico de potencia y control P-01



Fuente: Autores

4.3. Desarrollo del Software (Programa del PLC)

A continuación, damos a conocer se la programación lógica desarrollada en el software TIA PORTAL V13 cargada a la memoria de trabajo del PLC S7 1200 de Siemens para el control y monitoreo de variables medidas por los instrumentos y generación de repuestas para ejecución de los actuadores, esta secuencia está basada en diagramas por escaleras (Ladder). En la figura 4-4 se muestra el listado de todas las variables usadas en el programa.

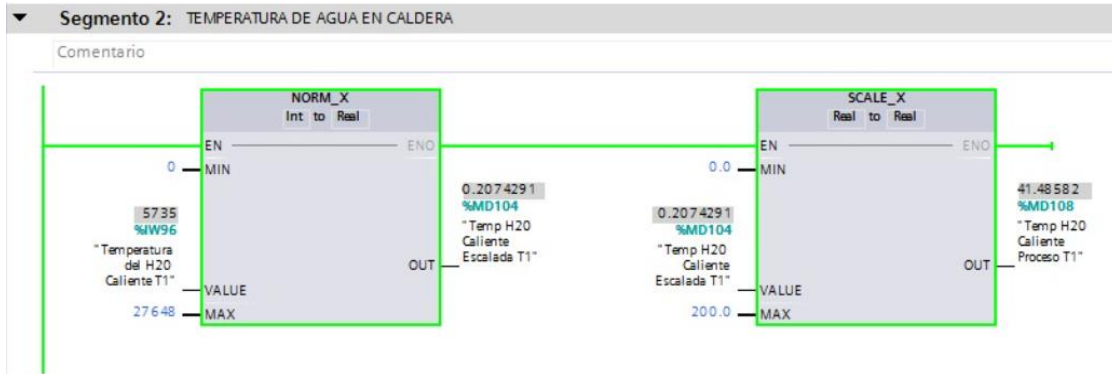
Figura 4- 4: Variables programadas en el plc.

Variables PLC				
	Nombre	...	Tipo de datos	Dirección ▲
1	PARADA DE EMERGENCIA	...	Bool	%I0.0
2	Bipolar	...	Bool	%I0.2
3	Temperatura del H2O Caliente T1	▼	Int	%IW752
4	NIVEL TK Leche	...	Int	%IW754
5	Temperatura de Pasteurizacion T4	...	Int	%IW756
6	Tempe Leche Tanque Pasteurizacion T5	...	Int	%IW758
7	Temperatura Leche Calentada T3	...	Int	%IW760
8	BOMBA RECIRC LECHE CRUDA	...	Bool	%Q0.1
9	BOMBA RECIRC H2O CALIENTE	...	Bool	%Q0.2
10	SOLENOIDE RECIRC LECHE	...	Bool	%Q0.3
11	SOLENOIDE LECHE PASTEURIZADA	...	Bool	%Q0.4
12	BOMBA RECIRC SIS ENFRIAMIENTO	...	Bool	%Q0.5
13	MOTOR AGITADOR TK PASTEURIZACION	...	Bool	%Q0.6
14	BLOWER SISTEMA ENFRIAMIENTO	...	Bool	%Q0.7
15	CALEFACCION CALDERA R1	...	Bool	%Q1.0
16	CALEFACCION CALDERA R2	...	Bool	%Q1.1
17	CALEFACCION CALDERA R3	...	Bool	%Q1.2
18	Temp H2O Caldera Baja	...	Bool	%M0.0
19	Temp H2O Caldera Alta	...	Bool	%M0.1
20	TIMER BOMBA AGUA PARA LECHE	...	Bool	%M0.2
21	INTERLOOK NIVEL	...	Bool	%M0.3
22	Temp TK Leche Pasteurizada ALTA	...	Bool	%M0.4
23	Temp H2O LISTA PARA PASTEURIZAR	...	Bool	%M0.5
24	Contador Solenoide Pasteurizacion	...	Bool	%M0.6
25	Control Temp R-1	...	Bool	%M1.0
26	Control Temp R2	...	Bool	%M1.1
27	Control Temp R3	...	Bool	%M1.2

Fuente: Autores

A continuación, en las figuras 4-4 y 4-5 se describe la conversión de la señal análoga recibida del transductor al PLC para la indicación en la interfaz y control de temperatura de acuerdo con el rango de los mismos instrumentos.

Figura 4- 5: Escalamiento de las entradas análogas sensor de temperatura TT-01



Fuente: Autores

Figura 4- 6: Escalamiento de las entradas análogas sensor de temperatura TT-04



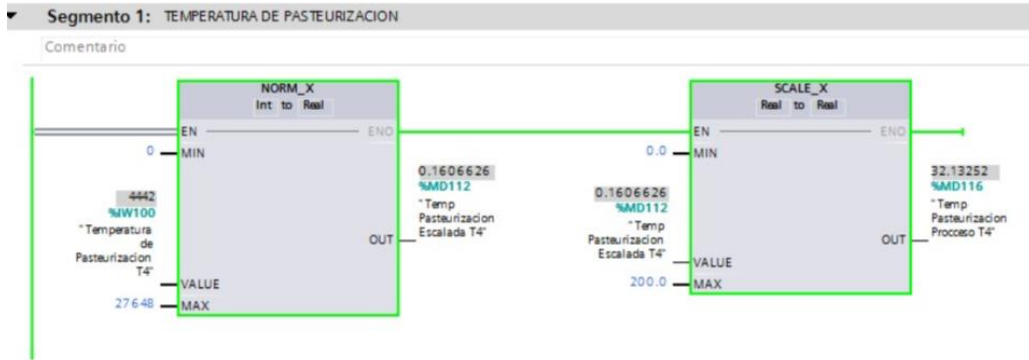
Fuente: Autores

Figura 4- 7: Escalamiento de las entradas análogas sensor de temperatura TT-05



Fuente: Autores

Figura 4- 8: Escalamiento de las entradas análogas sensor de nivel LT-01

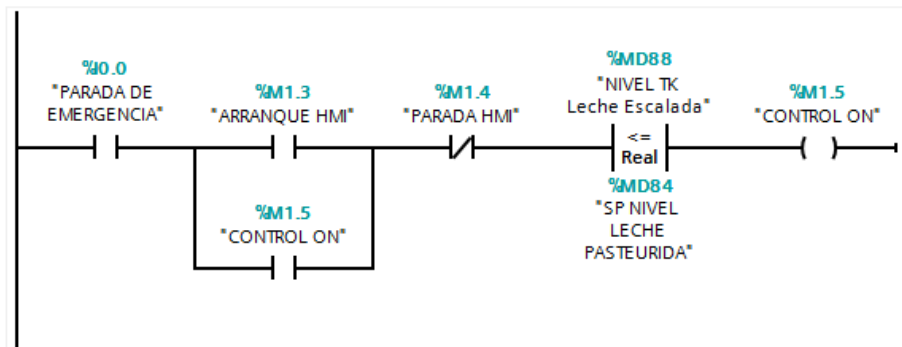


Fuente: Autores

Para tener en cuenta que cuando se habla de escalar las señales hacemos referencia a tomar salida análoga de los transmisores y convertirla en el rango configurado al bloque *scale*, dicho rango deber ser igual al ajustado al transductor para una correcta visualizacion de la variable fisica medida.

Primeramente se deben ajustar los valores deseados operativos de la planta y luego de ello como se ilustra en la figura 4-8 del HMI en el cuadro de Set-Point. Dentro de las condiciones necesarias para el arranque inicial de la planta se encuentra la parada de emergencia, la cual no debe estar activada y el nivel del tanque de pasterurización debe estar por debajo del Set-piont ajustado como valor maximo.

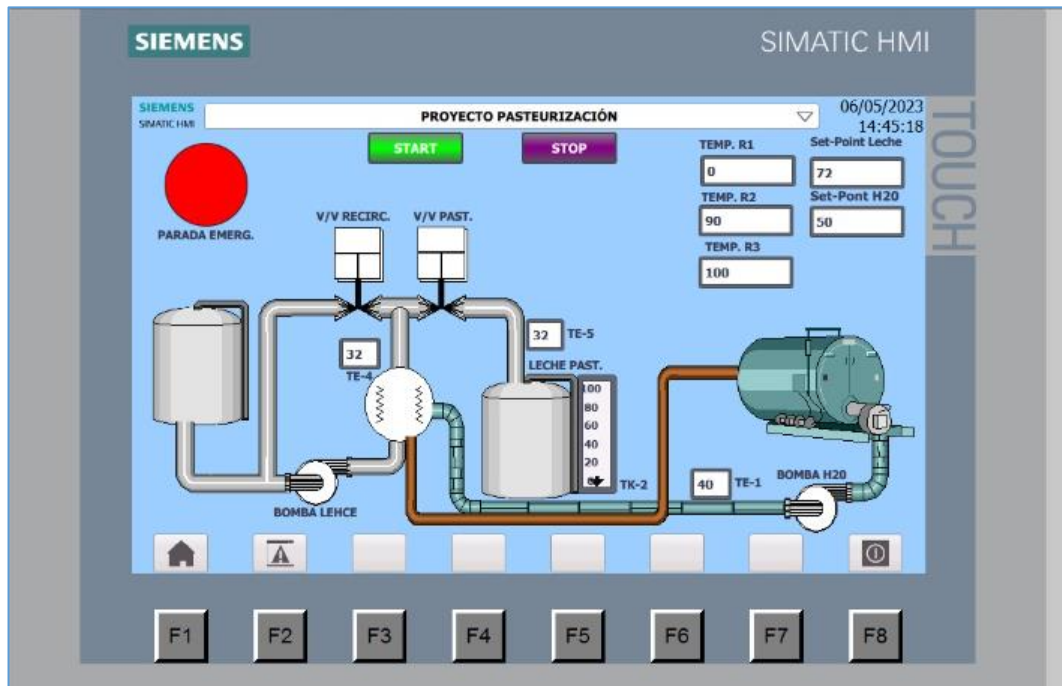
Figura 4- 9. Rutina de arranque de la planta.



Fuente: Autores

Una vez activado el control ON del circuito logico por medio del pulso de ARRANQUE ya sea en forma manual desde el tablero de control o desde el HMI, da paso al funcionamiento de la bomba de recirculacion de agua de la caldera.

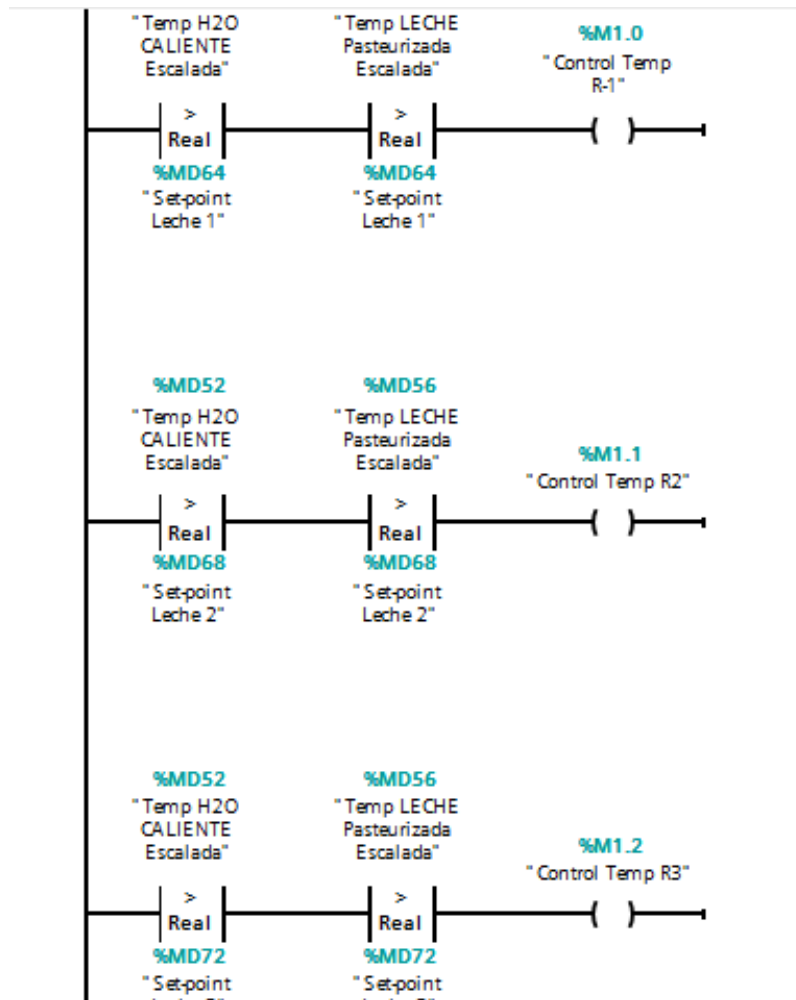
Figura 4- 10: HMI Seguimiento del control de la planta



Fuente: Autores

Se tiene un control automático sobre cada resistencia las cuales una vez arrancado el ciclo inician su calentamiento para generar transferencia de calor al agua del circuito de calentamiento, y se ajusta valores diferentes del Set-point para su apagado, 70 – 80 – 90°C respectivamente de R1 – R2 – R3 al realizar una comparación con la temperatura del agua y la leche para luego activar una marca o bobina que hace parte del control que comanda el accionamiento directo que los SSR para el calentamiento de las resistencias como se instruye en la sentencia logica de la siguiente figura.

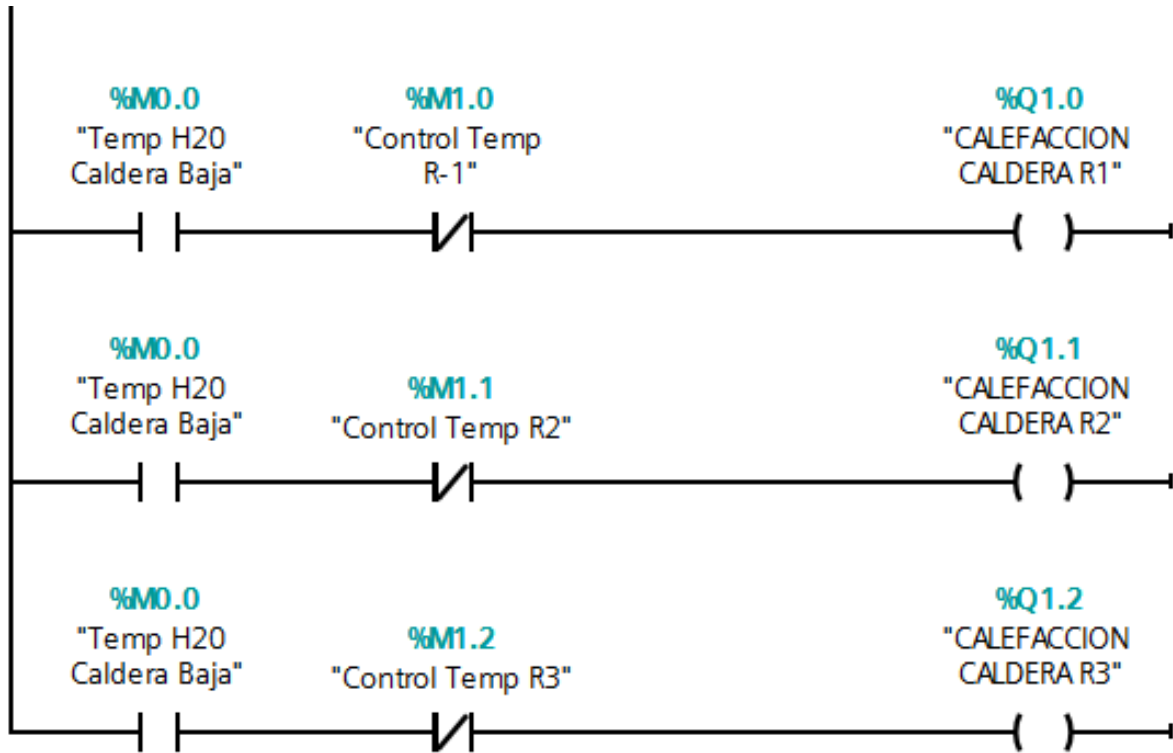
Figura 4- 11: Comparadores para control de las resistencias de calefacción.



Fuente: Autores

Un contacto de las marcas M1.0 – M1.1 – M1.2 hacen parte del control y comando para activar las salidas digitales físicas Q1.0 – Q1.1 – Q1.2 que controlan el accionamiento de los relés de estado sólido (SSR) para energizar las resistencias y producir el calentamiento, quienes se desactivaran de forma secuencial R1 – R2. Una vez la temperatura de la leche aumente secuencialmente a 71 – 73°C y la R3 con SP de 75°C permite el sostenimiento de la calefacción una vez disminuye la temperatura del agua por el intercambio de temperatura con la leche como se detalla en la sentencia lógica de la siguiente figura.

Figura 4- 12: Salidas digitales y activación de las resistencias de calefacción.

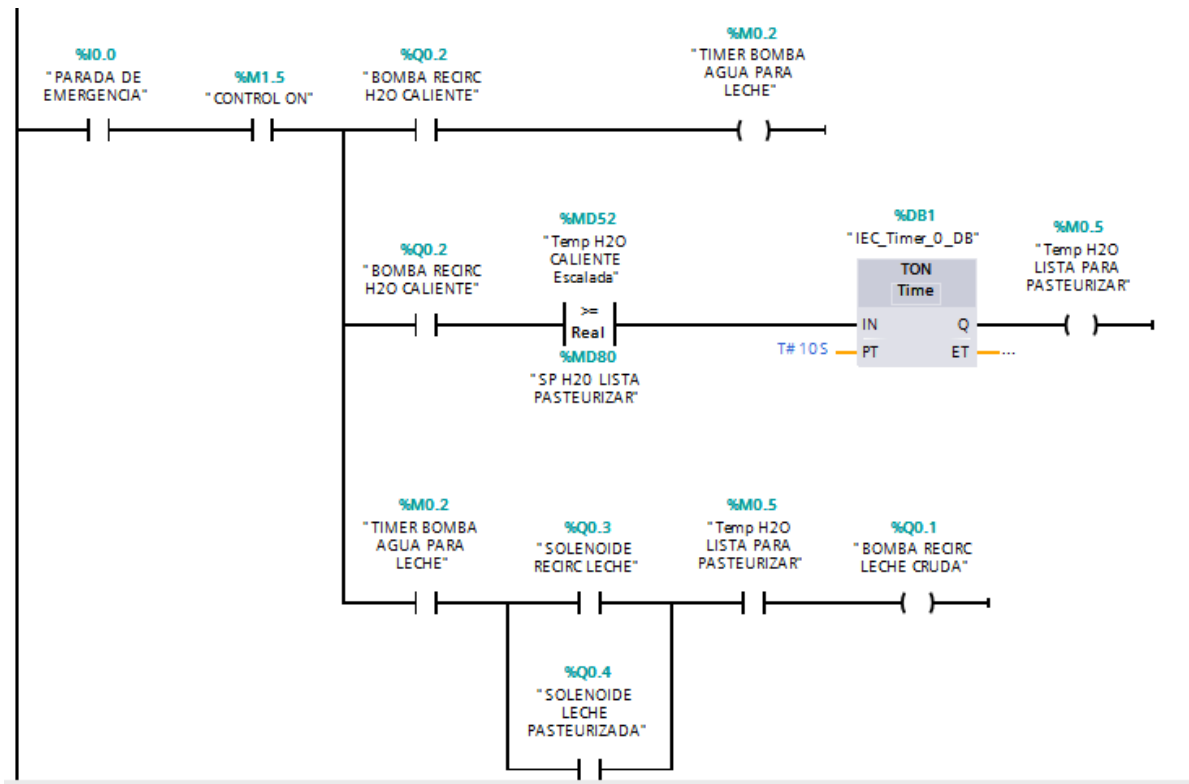


Fuente: Autores

Una vez iniciado el ciclo de calentamiento el controlador al momento que enciende las resistencias también da arranque a la bomba de recirculación de agua caliente P-01 dándose así el contacto del agua con las resistencias encendidas.

Estando la válvula de recirculación de leche activada, la bomba de agua en servicio y alcanzado el Set-point ajustado (Ver figura 4-8) para el arranque de la leche después de 10s se da el accionamiento de la salida digital (Q0.1) para el arranque de la bomba, recirculación y calentamiento de la leche, como se ilustra en la sentencia lógica de la siguiente figura.

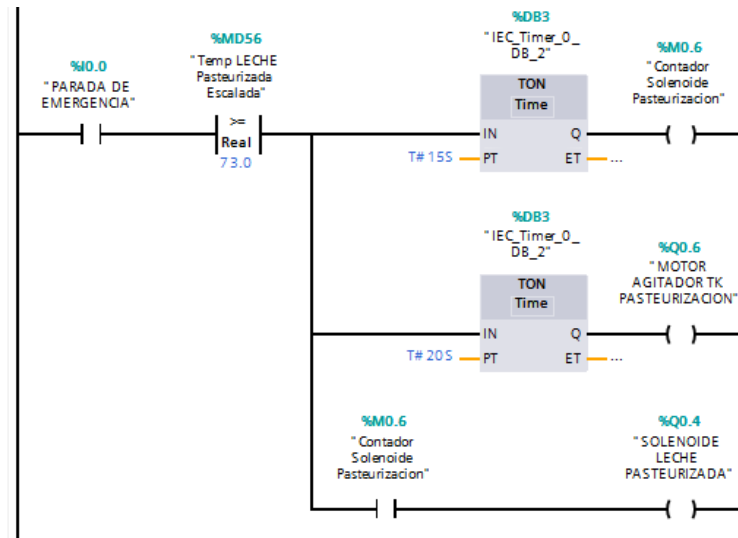
Figura 4- 13: Sentencia lógica para arranque y paro de la bomba de leche



Fuente: Autores

Luego que se va incrementado la temperatura leche y su temperatura alcanza el valor deseado (73°C) da paso a un conteo de 15s para que ese segmento del fluido se caliente con las especificaciones de la técnica HTST (calefacción a 72°C por 15s) así se active las salidas digitales (Q0.4) de la válvula que direcciona el flujo hacia el tanque de pasteurización y, al bajar la temperatura se genera el cambio automáticamente de ambas electroválvulas, esta descripción se aprecia en la sentencia lógica de la siguiente figura.

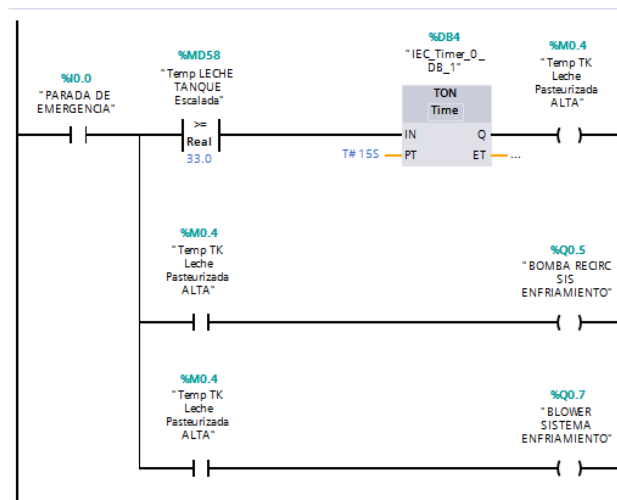
Figura 4- 14: Sentencia lógica para activar solenoide de leche pasteurizada



Fuente: Autores

Una vez la leche pasteurizada alcanza el punto de medición de sensor en el tanque de pasteurización y este detecta una temperatura por encima de la ambiental a 33°C el sistema de enfriamiento entra en servicio, activando las salidas digitales (Q0.5 – Q0.7) de la bomba y el extractor hasta que haya bajado al valor ya prefijado.

Figura 4- 15: Sentencia lógica para arranque y paro del enfriamiento



Fuente: Autores

5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Este capítulo empieza mostrando los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del sistema de control de temperatura y de los diferentes dispositivos (sensores y actuadores) que conforman la planta de pasteurización.

5.1. Pruebas de sensores de temperatura (HART)

En la siguiente tabla se muestra los ajustes realizados a los sensores de temperatura del proceso con el equipo comunicador HART 475, Dicho ajuste consistió en verificar los rangos de temperatura establecidos para cada transductor, asignación de los nuevos rangos de trabajo, calibración y ajuste de acuerdo con las necesidades del proceso. En la tabla 11,12 y 13 se muestran los resultados de dichas verificaciones.

Tabla 11. Calibración de sensor de agua de calentamiento (TT-01).

TT-01			
Temperatura con sensor patrón (°C)	Salida análoga (mA)	Temperatura medida con sensor de proceso(°C)	Error (%)
40	7,2	40,02	-0,02
50	8	50,03	-0,03
60	8,8	60,03	-0,03
70	9,6	70,03	-0,03
80	10,4	80,02	-0,02

Fuente: Autores

Nota: el transductor TT-01 tiene un rango de medida ajustado de 0 – 200°C

Tabla 12. Calibración de sensor de leche pasteurizada (TT-04).

TT-04			
Temperatura con sensor patrón (°C)	Salida análoga (mA)	Temperatura medida con sensor de proceso(°C)	Error (%)
40	7,2	40,05	-0,05
50	8	50,03	-0,03
60	8,8	60,03	-0,03
70	9,6	70,02	-0,02
80	10,4	80,03	-0,03

Fuente: Autores

Nota: el transductor TT-04 tiene un rango de medida ajustado de 0-200°C

Tabla 13. Calibración de sensor de Tanque leche pasteurizada (TT-05).

TT-05			
Temperatura con sensor patrón (°C)	Salida análoga (mA)	Temperatura medida con sensor de proceso(°C)	Error (%)
40	7,2	40,05	-0,05
50	8	50,05	-0,05
60	8,8	60,03	-0,03
70	9,6	70,03	-0,03
80	10,4	80,01	-0,01

Fuente: Autores

Tabla 14. Calibración de sensor de nivel tanque leche pasteurizada (LT-01)

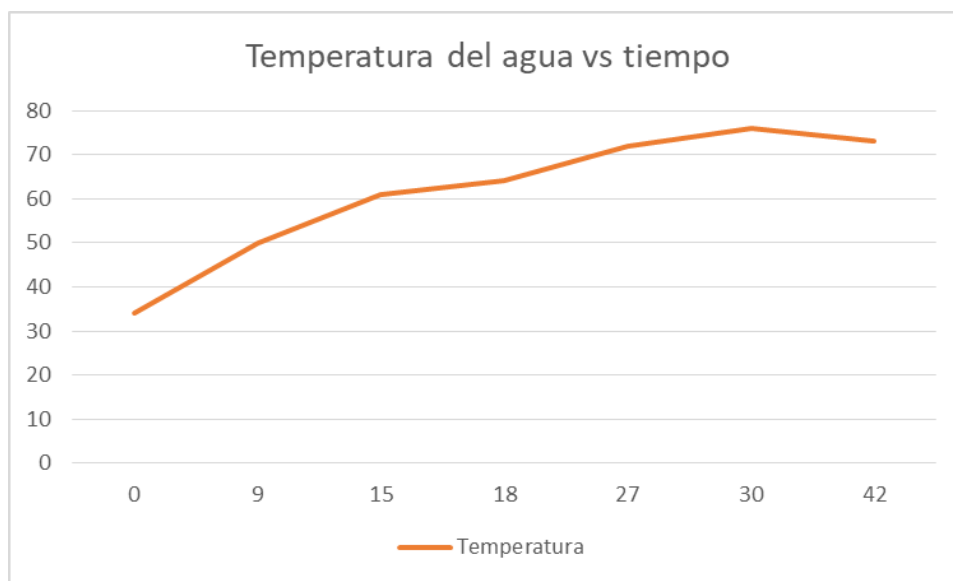
LT-01			
Nivel%	Salida análoga (mA)	Nivel medido con sensor de proceso(°C)	Error (%)
0	4	0	0
25	6	25,3	0,3
50	8	50,2	0,2
75	10	75,1	0,1
100	12	100	0

Fuente: Autores

5.2. Temperatura del agua de caldera

El aumento de la temperatura de la caldera es controlado por el plc al comparar la entrada del valor de temperatura de la TT-1, con los valores seteados en la pantalla HMI. El comportamiento que tuvo durante todo el proceso de calentamiento se describe en la figura

Figura 5- 1. Gráfica del Comportamiento de la temperatura del agua vs tiempo.

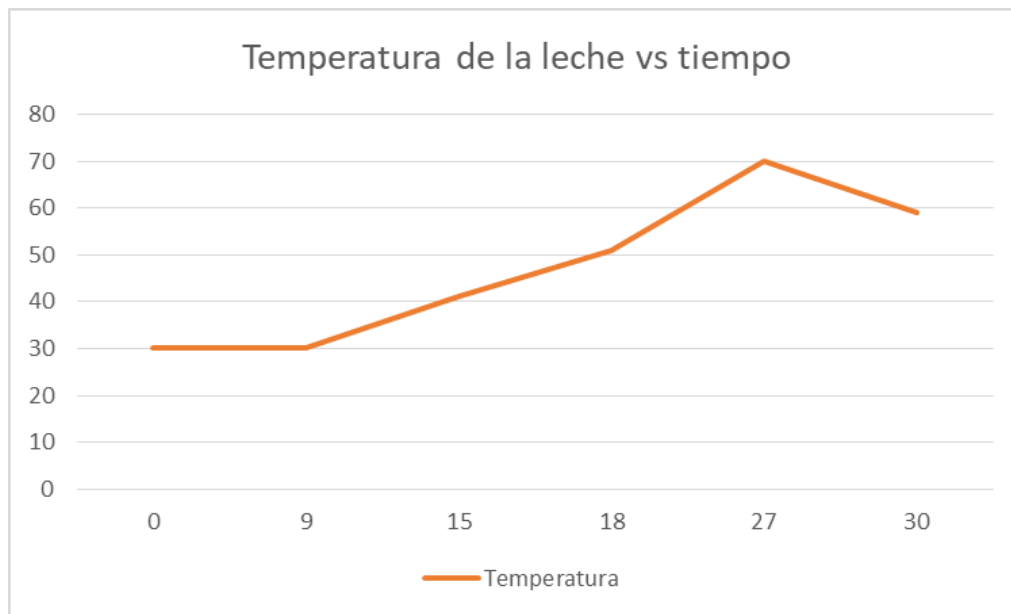


Fuente: Autores

5.3. Temperatura de pasteurización de la leche

En la siguiente tabla se ilustra cómo se comporta el calentamiento de la leche, la circulación de la leche por el área de transferencia de calor inicia una vez el agua haya alcanzado un calentamiento de 60°C, por tanto, en el minuto 1 de la circulación de la leche, esta aumenta la temperatura del valor ambiente a 41°C, es decir es decir tuvo un incremento de °11 C en ese tiempo.

Figura 5- 2: Gráfica del comportamiento de la temperatura de la leche vs tiempo.



Fuente: Autores

5.4. Comportamiento de la temperatura del agua Vs leche

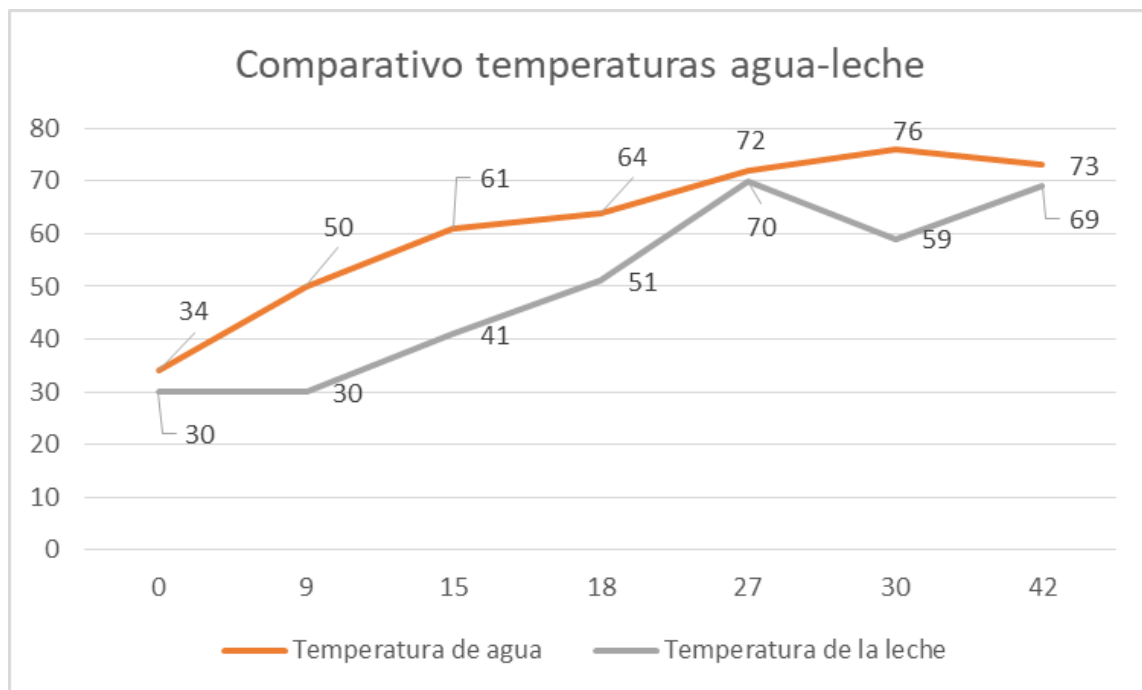
La tendencia vista entre el comportamiento de estas 2 lecturas se vio enmarcada que cuando en el proceso se está dando la recirculación de los 2 circuitos la leche tiende a aumentar su temperatura mientras que la temperatura del agua de calentamiento tiende a bajar. Ver figura 5-3.

Se puede Concluir que entre los 9 y 15 minutos de haber arrancado el ciclo se incrementa la temperatura de la leche, de ahí en adelante y hasta entre ingresa los 27 y 30 minutos

al darse la primera descarga de producto listo se cae la temperatura de la leche pues ingresa producto nuevo al proceso.

Nótese según la figura 5-3 que al sistema tener producto nuevo después del minuto 30 se inicia la transferencia de calor y la temperatura de la leche empieza a subir y la del agua de calentamiento empieza a descender.

Figura 5- 3: Gráfica del comportamiento de las temperaturas de la leche y el agua

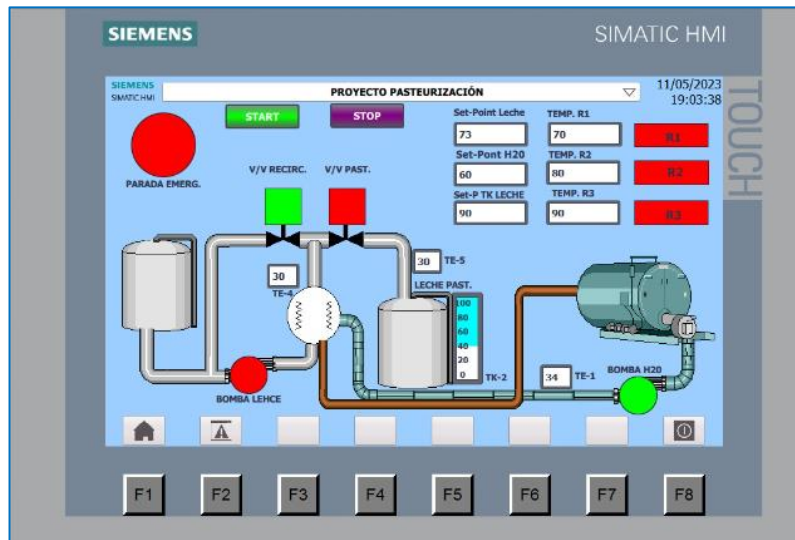


Fuente: Autores

5.5. Validación de pruebas

Al dar inicio al ciclo de pasteurización desde temperatura ambiente (Ver figura 30) se observa que arrancan las resistencias R1, R2 Y R3 al igual que la bomba de agua caliente P – 01 observando que se da un incremento de la temperatura medida por la TT-01.

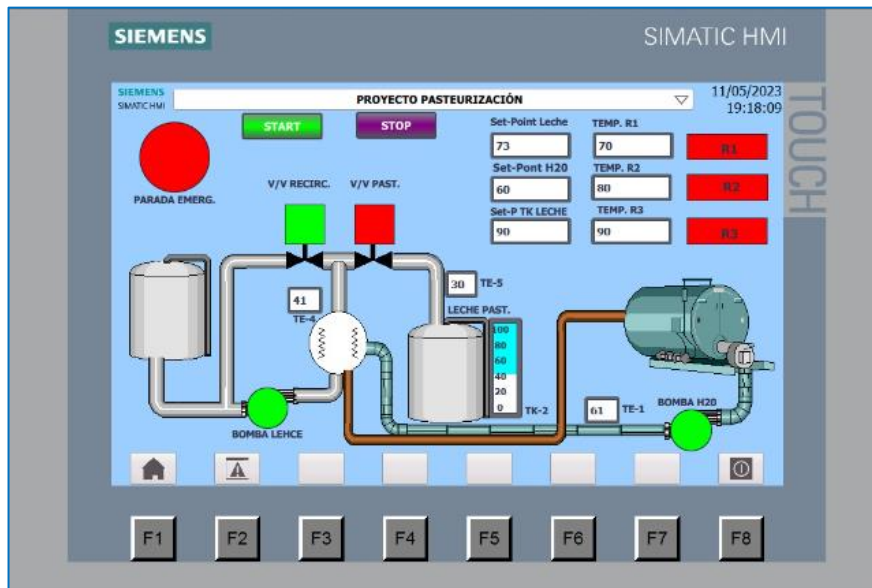
Figura 5- 4: Inicio de ciclo de pasteurización



Fuente: Autores

Transcurrido 15 minutos aproximadamente se observa que la temperatura del agua de calentamiento ha alcanzado el set point de 60 grados dándose inicio al temporizado de 10 segundos, arranque de la bomba de leche y apertura de la EV – 01 dándose la recirculación de leche cruda a través de los intercambiadores. (Ver figura 31).

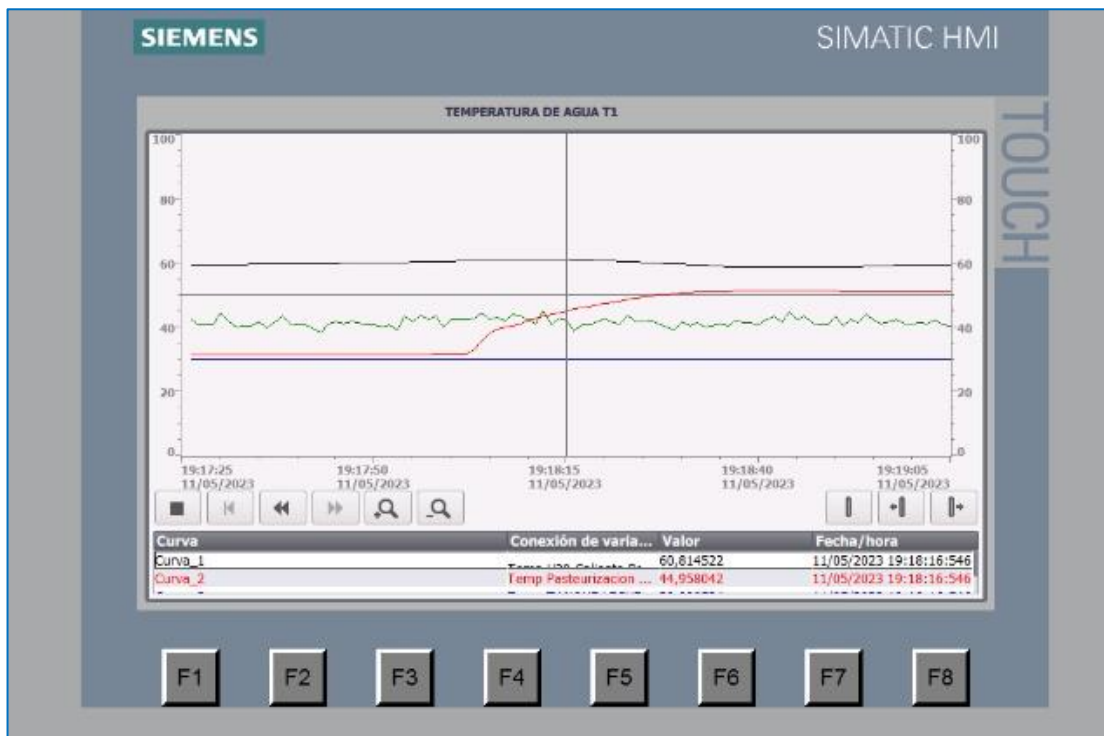
Figura 5- 5: Arranque de bomba P-01 Y EV-01



Fuente: Autores

Al iniciarse la transferencia de calor entre los dos líquidos que están recirculando observamos en la figura 31 que hay una disminución en el valor de la línea negra que representa la temperatura del agua de calentamiento y un aumento en el valor de la línea roja que representa la temperatura de la leche. Hasta este instante las otras 2 variables como son la temperatura del tanque de leche pasteurizada (TT-5) y nivel del tanque de leche pasteurizada (LT-01) permanecen estables.

Figura 5- 6: Inicio transferencia de calor

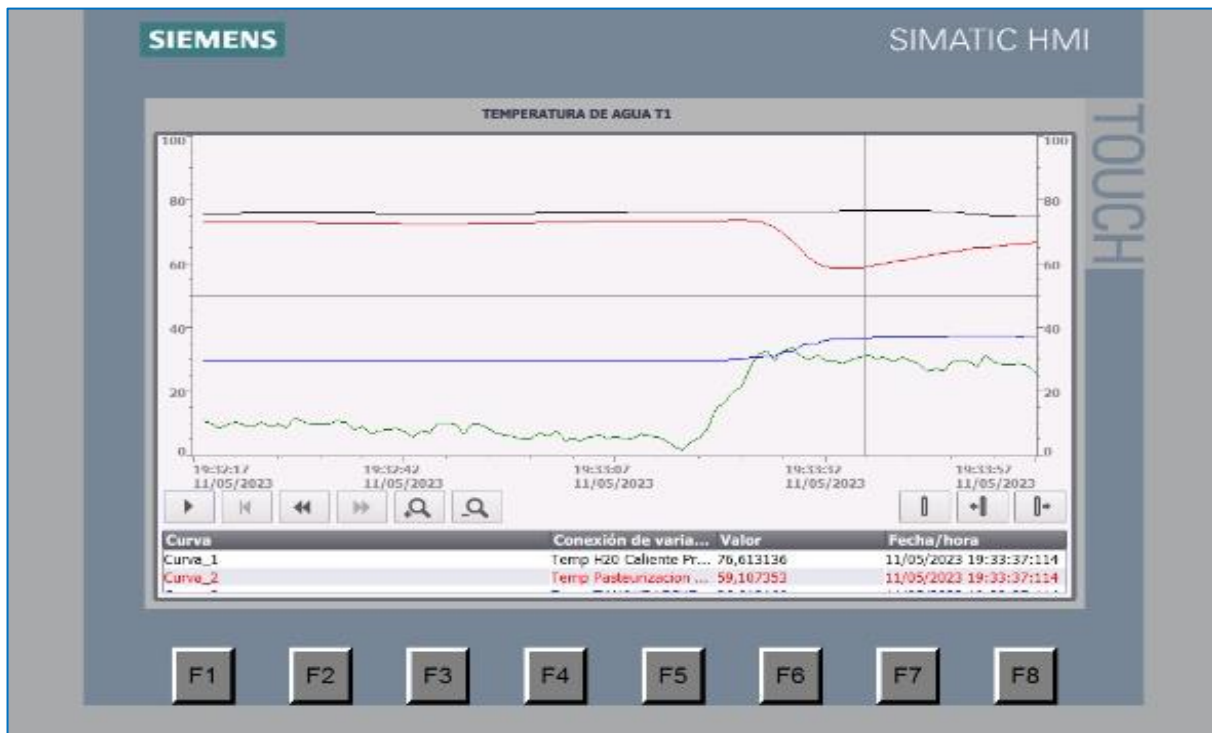


Fuente: Autores

Al transcurrir 14 minutos después de haber arrancado la bomba P -02 se observa que la leche medida a la salida de intercambiador E-02 alcanza el set point de 73 °C y logra mantenerse por espacio de 15 segundos lo cual da paso a que el plc tome la decisión de cerrar la válvula EV-01 y abrir la válvula EV-02 permitiendo el paso de leche ya pasteurizada al cumplir con el ciclo HTST. (Ver figura 5-7).

La válvula EV-02 permanecerá abierta hasta la temperatura de la leche medida por la TT- 04 descienda debido a que cuando se está direccionando la leche pasteurizada al tanque también está ingresando producto a pasteurizar.

Figura 5- 7: *Cumplimiento del primer ciclo HTST*



Fuente: Autores

Una vez esto sucede el plc abre nuevamente la EV-01 permitiendo que esa nueva leche que ingresa al sistema inicie su etapa de calentamiento a través de los intercambiadores iniciando un nuevo ciclo ya en línea.

Como se puede observar en la figura 32 después de haber transcurrido 4 minutos de haberse cumplido el primer ciclo la leche alcanza nuevamente la temperatura de pasteurización dándose paso nuevamente de producto al taque de leche pasteurizada.

Aquí cabe resaltar que el ciclo se seguirá generando mientras se mantengan las variables del proceso en los rangos establecidos controlados por el plc y hasta que el tanque de leche pasteurizada alcance el nivel seteado que en este caso era 90%

5. CONCLUSIONES

Como conclusiones podemos mencionar que antes de realizar la intervención de la planta pasteurizadora de leche de la universidad Antonio Nariño de la ciudad de Cartagena esta se encontraba en condiciones desfavorables para su funcionamiento por lo cual fue necesario realizar en primera instancia mantenimientos e carácter correctivos y preventivos a cada uno de sus componentes mecánicos y eléctricos además de una mejoras en cuanto a sus componentes de control que permitieran tener un mejor control sobre las variables del proceso y por ende con el cumplimiento de los estándares de operación para los cuales fue diseñada la planta.

Al presente la planta cuenta con sensores ajustados con equipos especializados dando más confiabilidad, un PLC de la marca Siemens y modelo S7-1200 reemplazo de un S7 300 , el cual mediante sus entradas y salidas digitales sumado al módulo de entradas analógicas permiten una buena medición y recopilación de datos de temperatura y nivel, así como también realiza la rápida conmutación de los actuadores del equipo, tales como bombas, resistencias y electroválvulas que permitirán que la maquina alcance los valores deseados en tiempos muchos menores comparado con el equipo antes de las mejoras.

Se puede analizar en la figura 27, y se analiza el comportamiento de la temperatura de la leche a pasteurizar, destacándose que la temperatura de la leche alcanza el set point de 73°C por más de 15 segundos manteniéndose estable hasta que ingresa nuevo producto al proceso, lo cual demuestra la estabilidad de la planta y garantiza el cumplimiento del estándar HTST.

Para preservación y conservación de la planta en el tiempo se hace entrega a la universidad del manual de operación de la planta y los planos eléctricos y los cuales contienen la información necesaria operar correctamente el equipo y poder contar con el como herramienta de enseñanza a los estudiantes de pregrado de la facultad de Facultad

de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica de la universidad Antonio Nariño sede Cartagena.

6. RECOMENDACIONES

A continuación, se enuncian puntos pendientes que tiene la planta por mejorar y que pueden ser trabajados en el futuro para optimizar su funcionamiento, contribuyendo con la recuperación del recurso educativo de la universidad:

- Automatización del vaciado del tanque de leche pasteurizada. Actualmente queda el vaciado en forma manual.
- Habilitación del agitador del tanque de leche pasteurizada.
- Control de nivel del tanque de leche cruda. Esto para que se finalice el proceso en caso de que este tanque presente nivel bajo protegiendo la bomba P-02
- Automatizar el enfriamiento de la leche para el choque térmico al final del proceso de pasteurización.

Bibliografía

- Alfa de Occidente. (2019). <https://alfadeoccidente.mx>. Recuperado el 04 de 11 de 2019, de <https://alfadeoccidente.mx/seccion/?p=39>
- Cristian Iriarte Miranda, K. J. (2019). *Automatización de la Planta pasteurización de leche y productora de suero costeño*. Cartagena de Indias.: Autores de la tesis .
- Decreto 1880 del 2011. (s.f.). *Requisitos para la comercialización de leche cruda para el consumo humano*. Bogota.
- Decreto 2838 de 2006. (s.f.). *Requisitos para la comercialización de leche cruda*. Bogota D.C: Gobierno nacional.
- Distritec. (2019). *Distritec s.a.* Recuperado el 04 de 11 de 2019, de <https://www.distritec.com.ar/que-es-una-electrovalvula-y-para-que-sirve/>
- Iriarte Miranda, C., & Orozco Payares, K. J. (2019). *Automatización de la Planta pasteurización de leche y productora de suero costeño*. Cartagena de Indias.: Universidad Antonio Nariño.
- Nasanovsky, M. A. (15 de 05 de 2019). *portalechero*. Obtenido de portalechero: <http://www.portalechero.com/innovaportal/v/725/1/innova.front/proceso-de-pasteurizacion-.html?page=2>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Perez, M., Perez, A., y Perez, E., (2007). *Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo*. Universidad Nacional de San Juan. Argentina, pp. 10-11.
- Revenge, P. (2012). *Sensores y Actuadores*. Alcalá : Universidad de Alcalá.
- UNED. (2011). <http://www.ieec.uned.es>. Recuperado el 01 de 05 de 2019, de <http://www.ieec.uned.es>: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf

Ministerio de salud y protección social. (2006, 24 de agosto). Decreto 2838, *Requisitos para la comercialización de leche cruda*. Bogota D.C: Gobierno nacional.<https://minsalud.gov.co/sites/rid/lists/bibliotecadigital/ride/de/dij/decreto-2838-de-2006.pdf>

Ministerio de salud y protección social. (2011, 27 de mayo). Decreto 1880, *Requisitos para la comercialización de leche cruda*. Bogota D.C: Gobierno nacional.
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Decreto-1880-de-2011.pdf>

Moreno Galindo, J. N. (2013). Modelamiento y control de planta Pasteurizadora.

Seguas. (2023). Obtenido de <https://www.seguas.com/la-importancia-del-mantenimiento-en-instalaciones-industriales>.

ANEXOS

ANEXOS A: Seguimiento del trabajo integral de grado

TÍTULO DE PROYECTO: Diseño e implementación del sistema de control de temperatura de planta pasteurizadora de leche en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena			
DIRECTOR	Bashir Yacub Bermúdez	CORREO	bashir.yucub@uan.edu.co
ESTUDIANTES (S):	Cesar Augusto Jimiela Galván	TELÉFONO	3103507917
Código	20442015132	Elkin Enrique López Rocha	
Teléfonos	3202275091		20441829529.
Correo	cjmiela@uan.edu.co		3004524815
Correo			elopez65@uan.edu.co
Objetivo General: Diseñar e implementar un sistema de control automático de temperatura a la planta pasteurizadora de leche en la universidad Antonio Nariño sede Cartagena.			
Objetivos Específicos:			
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar el diagnóstico del estado actual de los dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos que componen el sistema, para la reutilización o reposición para la funcionalidad de la planta. • Implementar estrategias de control automático de temperatura al proceso de pasteurización de la leche. • Implementar un sistema automático de control de nivel de agua al interior de la caldera de servicio para la operación de pasteurización de la planta 			

Semana No.	ACTIVIDAD	Fecha, hora y lugar	% ejecutado	% programado	Recomendaciones y compromisos	Firma Director	Firma Estudiante (s)
1	Revisión y ajuste de propuesta de investigación	06-02-23	0%	5%	Ajustar el alcance del proyecto según objetivos	<i>Bermudez</i>	<i>Elkin Lopez Rocha</i>
2	Análisis de la estrategia de control a implementar	20-02-23	5%	15%	Consultar sobre capacidades del PLC instalado	<i>Bermudez</i>	<i>Elkin Lopez Rocha</i>

ANEXOS B: Seguimiento del trabajo integral de grado

Sesión No.	ACTIVIDAD	Fecha, hora y lugar	% ejecutado	% programado	Recomendaciones y compromisos	Firma Director	Firma Estudiante (s)
3	Revisión estado general de la planta	27-02-23	15%	25%	Chequear los componentes de la planta	<i>Banqueros</i>	<i>Elkino Jofes Labe</i>
4	Desarme y mantenimiento general de la planta	06-03-23	30%	35%	Seleccionar los componentes reemplazantes	<i>Banqueros</i>	<i>Elkino Jofes Labe</i>
5	Armado y pruebas de funcionamiento	27-03-23	40%	50%	Realizar pruebas etapa de bombas	<i>Banqueros</i>	<i>Elkino Jofes Labe</i>
6	Implementar pantalla	03-04-23	50%	60%	Realizar pruebas de comunicación	<i>Banqueros</i>	<i>Elkino Jofes Labe</i>
7	Implementación de estrategia de control y programación de PLC	17-04-23	70%	75%	Realizar pruebas del PLC	<i>Banqueros</i>	<i>Elkino Jofes Labe</i>
8	Instalación sistema de recirculación de agua	24-04-23	80%	85%	Revisar programación de PLC	<i>Banqueros</i>	<i>Elkino Jofes Labe</i>
9	Realización de pruebas generales	02-05-23	90%	95%	Ajustar parámetro de control	<i>Banqueros</i>	<i>Elkino Jofes Labe</i>
10							

ANEXOS C: Solicitud de entrega de Trabajo

Cartagena de Indias, DT y C, mayo 19 de 2023

Señores
Universidad Antonio Nariño
Atn.: COTIGE
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Asunto: Aval para evaluación de Proyecto de Grado.

Cordial saludo.

Con la presente informo que he revisado el Trabajo de Grado titulado "Diseño e implementación del sistema de control de temperatura de planta pasteurizadora de leche en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena", de los estudiantes César Augusto Junieles Galván, con código 20442015132 y Elkin Enrique López Rocha, con código 20441829529. Considero que el documento cumple con los lineamientos de FIMEB-UAN y tiene un contenido adecuado para que el estudiante lo presente ante ustedes con el objetivo de cumplir el requisito de someterlo a evaluación por parte del Comité de Trabajos de Grado COTIGE.

Atentamente,



Ing. BASHIR YACUB BERMUDEZ
Director del Proyecto

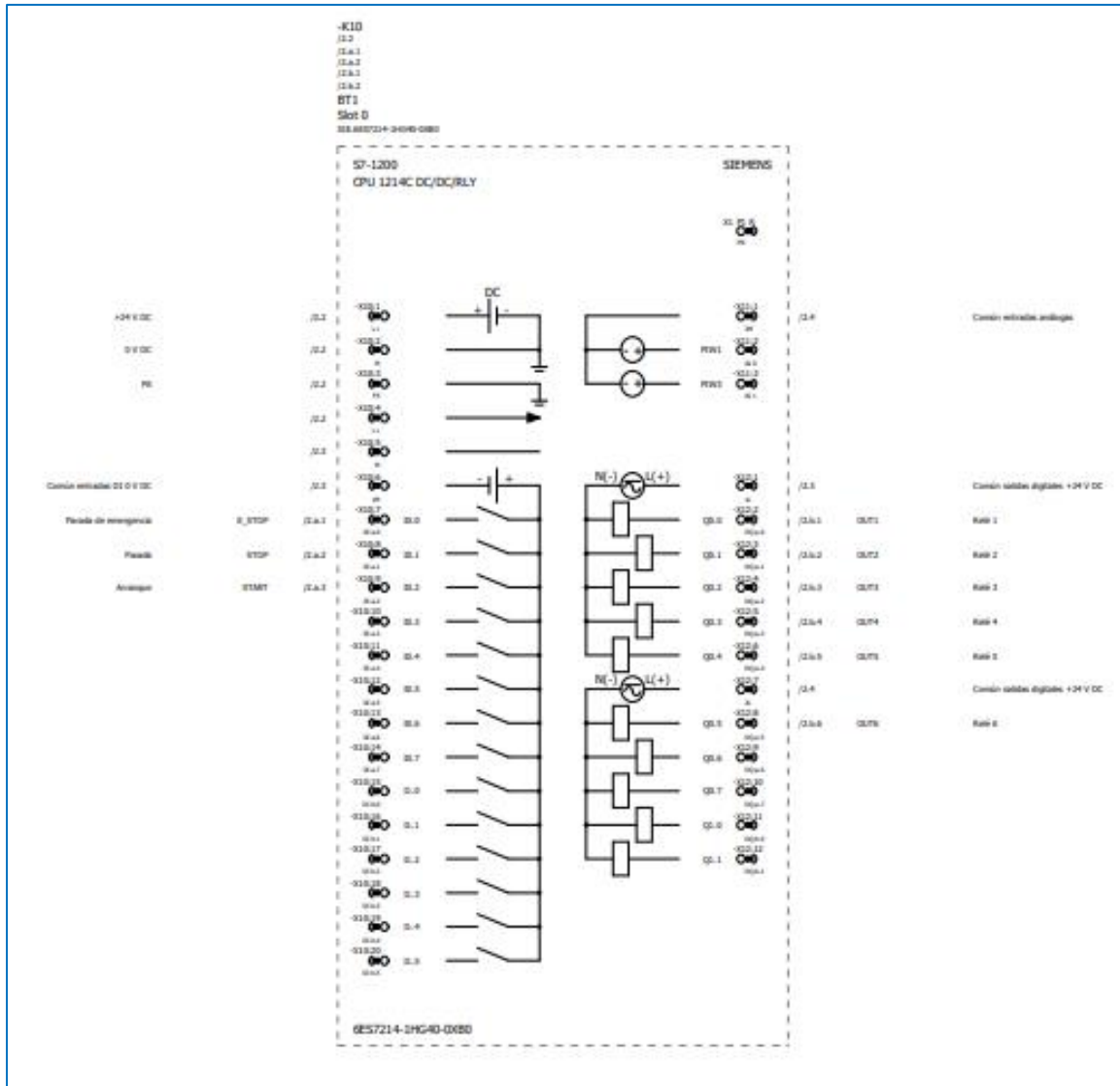
ANEXOS D: *Datos técnicos de equipos instalados en la planta*

Equipo	Descripción
E-01	Intercambiador de placas planas calentador de leche
E-02	Intercambiador de placas planas de sostenimiento de calefacción
E-03	Intercambiador de placas planas precalentador de leche
P-01	Bomba de impulsión sanitaria 110 v
P-02	Bomba de impulsión sanitaria 110 v
HB-01	Caldera de Servicio con calefacción eléctrica capacidad máxima de 60L
TK-01	Tanque cilindro de acero inoxidable de capacidad de 40 l.
TK-02	Tanque cilindro de acero inoxidable de capacidad de 40 l
TK-03	Tanque cilindro de acero inoxidable de capacidad de 40 l
TK-04	Tanque cilindro de acero inoxidable de capacidad de 29 l
SV-1, SV-2	Válvula solenoide de 1" a 24Vdc
TT-1, TT-2, TT-3 TT-4, TT-5	Transductores de temperatura marca ABB de 0-200°C con RTD PT-100.
LT-01	Transmisor de presión Rosemount con rango de 0-45" H ₂ O y salida análoga de 4 a 20mA
AIT-01	Transmisor de pH Mettler Toledo con sensor inteligente In Pro 4800i y salida análoga de 4 a 20mA.

Fuente: Autores

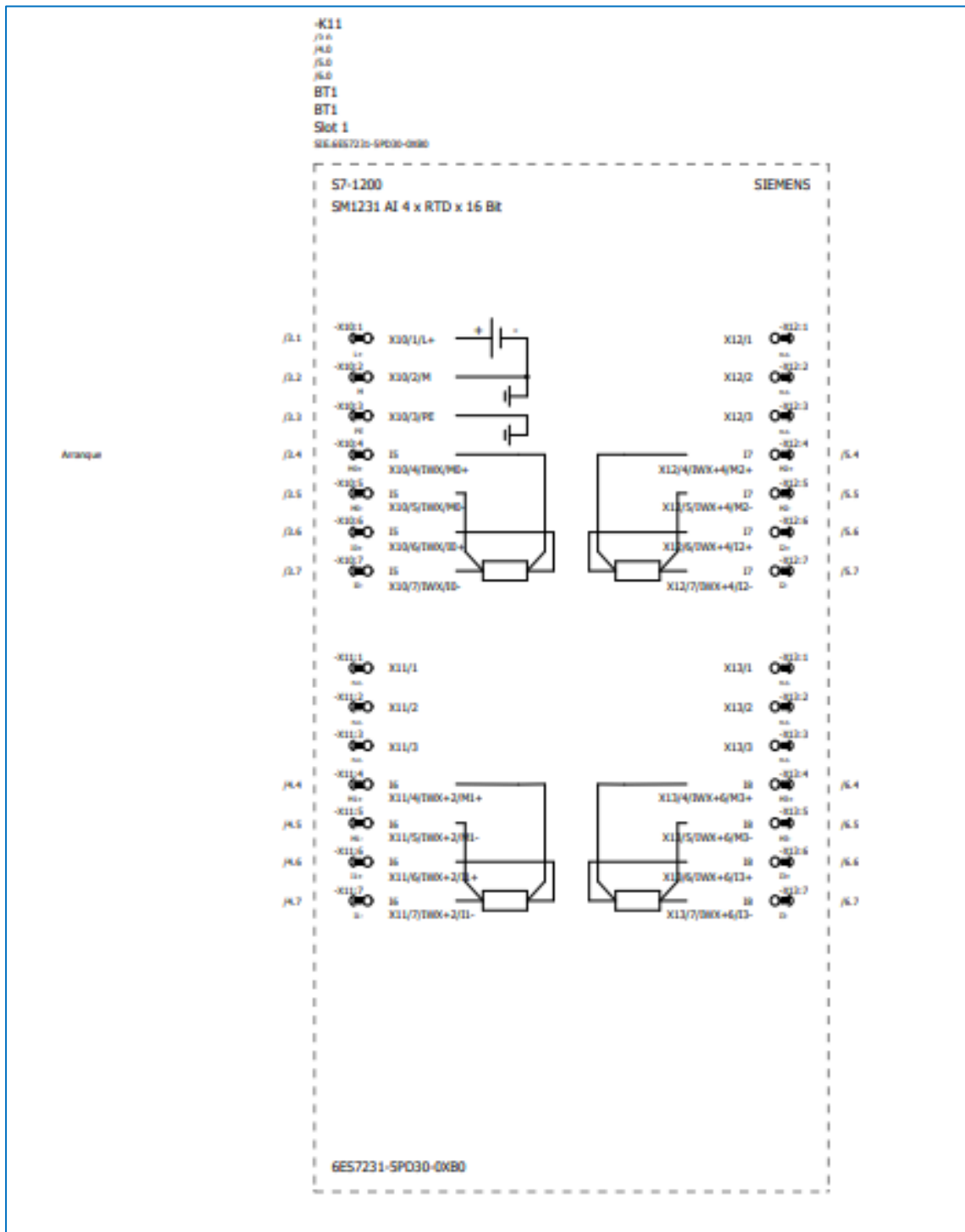
ANEXOS E: Diagramas eléctricos de control planta pasteurizadora.

Entradas y salidas PLC S7 1200.



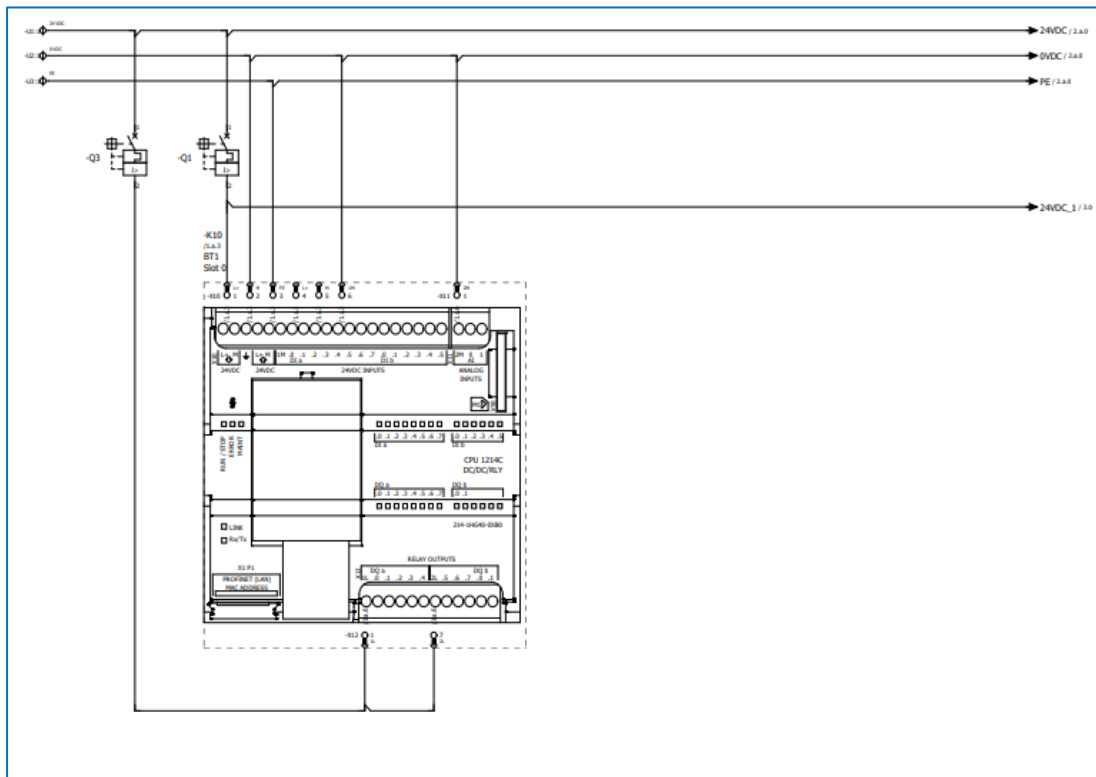
Fuente: Autores

Asignación de señales



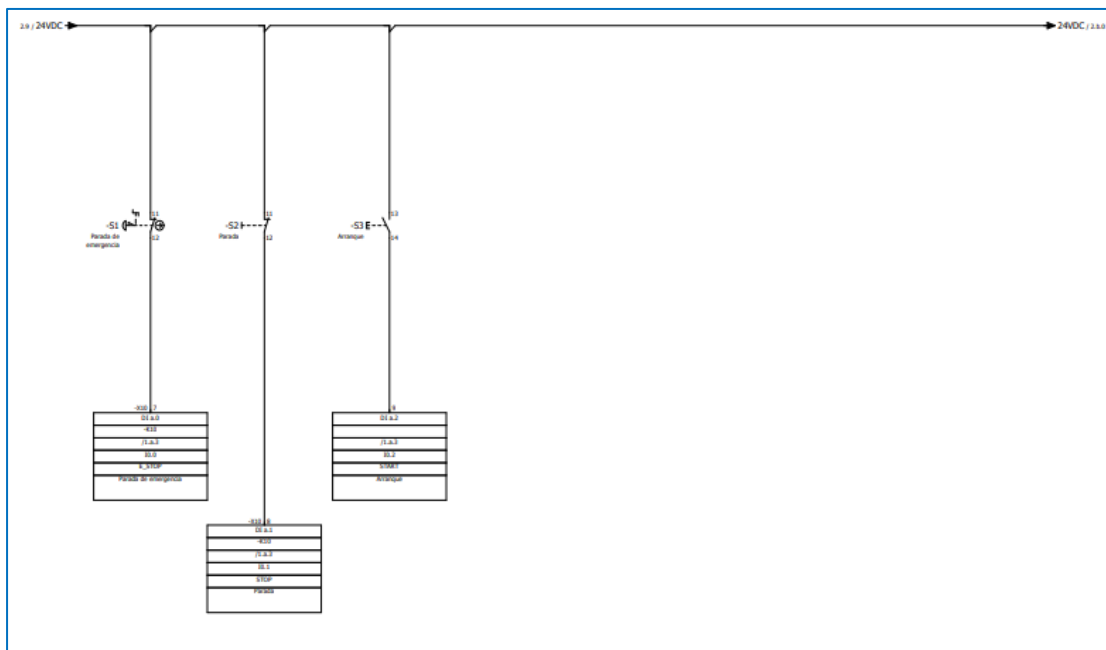
Fuente: Autores

Diagrama físico de conexión



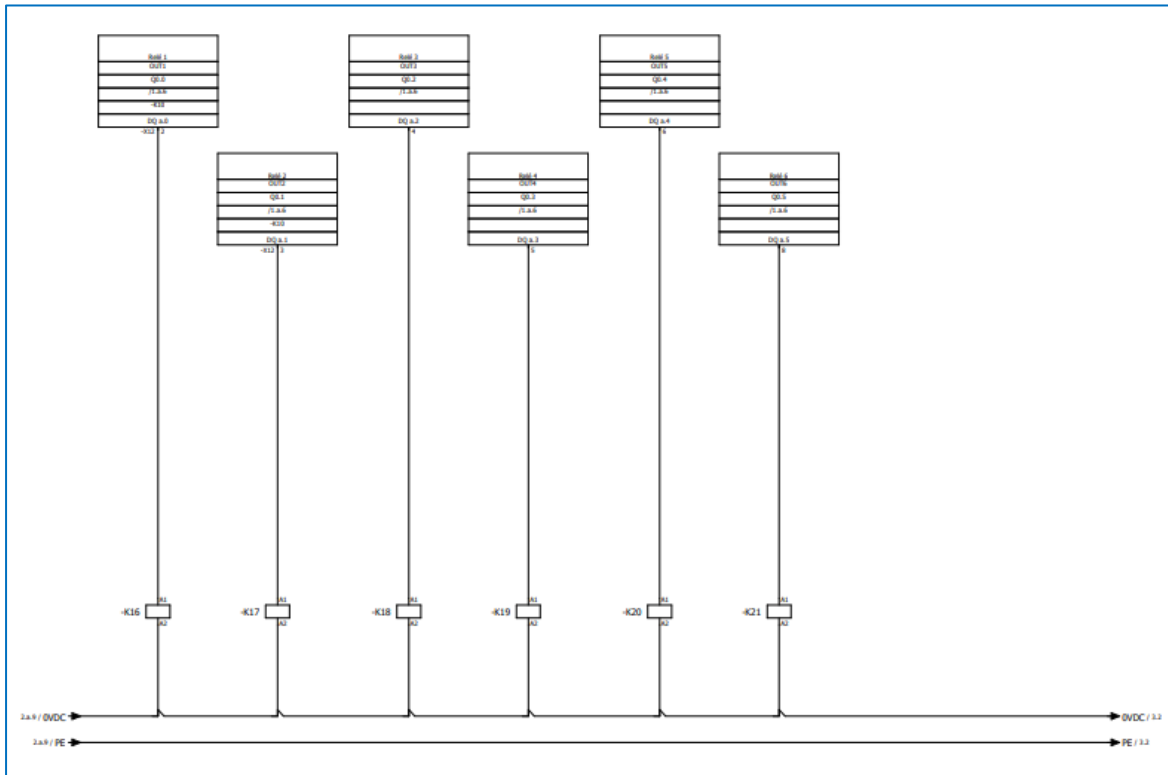
Fuente: Autores

Diagrama de ubicación de señales 1.



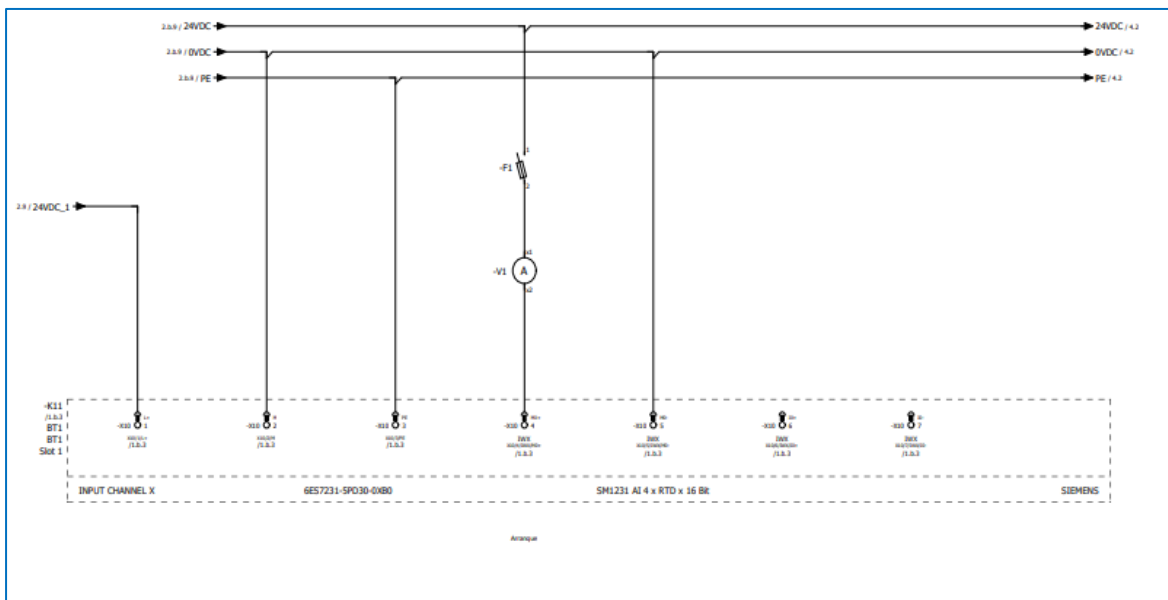
Fuente: Autores

Diagrama de ubicación de señales 2.



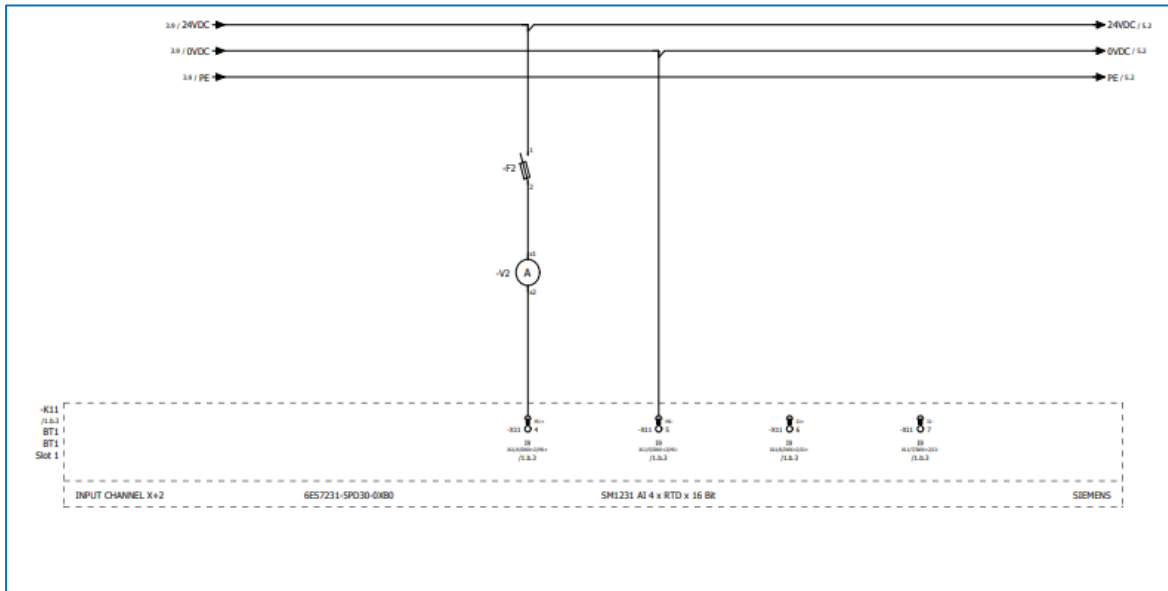
Fuente: Autores

Alimentación de transductores de temperatura y nivel 1.



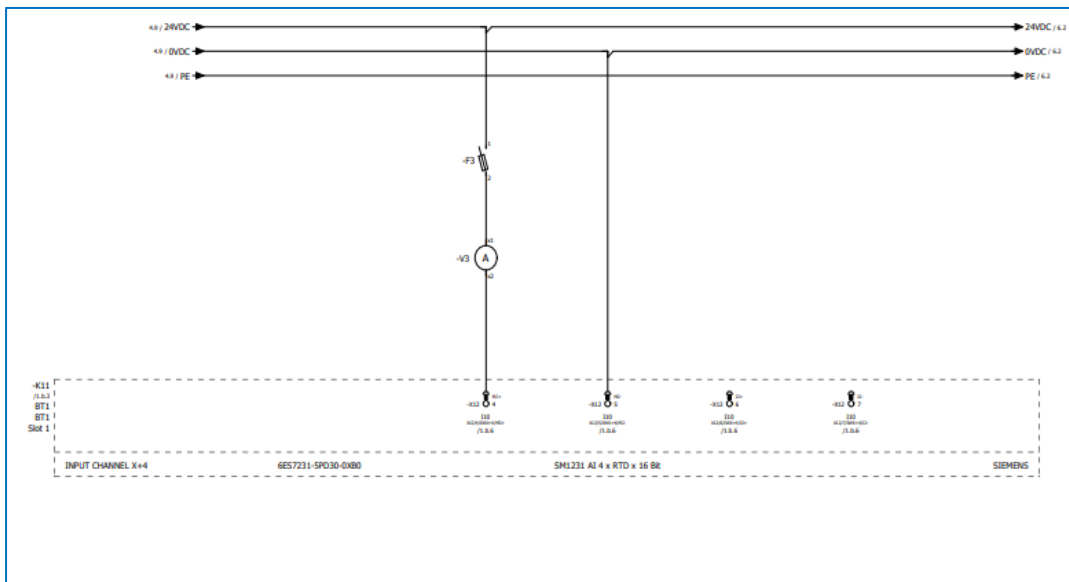
Fuente: Autores

Alimentación de transductores de temperatura y nivel 2.



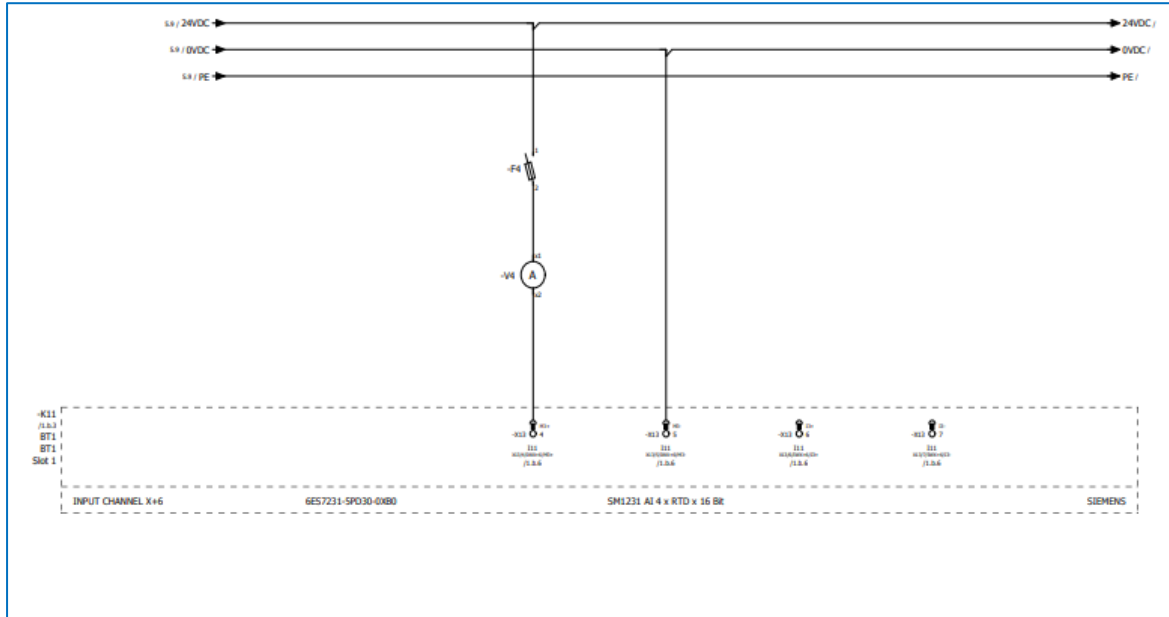
Fuente: Autores

Alimentación de transductores de temperatura y nivel 3.



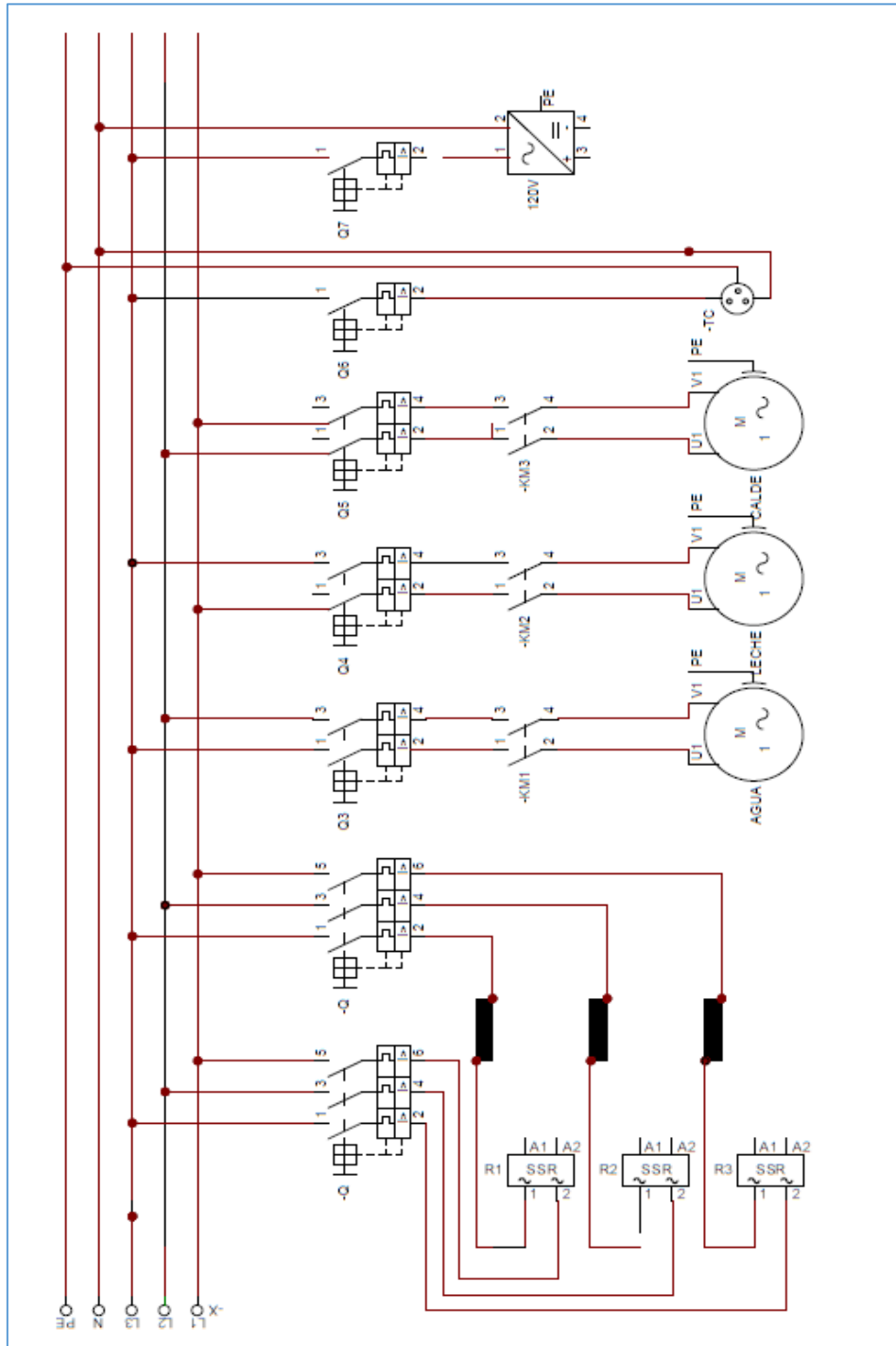
Fuente: Autores

Alimentación de transductores de temperatura y nivel 4.



Fuente: Autores

ANEXOS F. Diagrama de potencia planta pasteurizadora



Fuente: Autores

ANEXOS G: *Manual de operación planta pasteurizadora*



PLANTA PASTEURIZADORA DE LECHE

MANUAL TECNICO DE SEGURIDAD, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

CARTAGENA - COLOMBIA

MAYO - 2023

INTRODUCCIÓN

La leche forma parte de la dieta diaria de las personas lo que ha conllevado a la implementación de plantas de pasteurización láctea para eliminar agentes patógenos, sin perder sus cualidades nutritivas durante el proceso de pasteurización. Debemos considerar que la leche es un producto sensible a agentes físicos, químicos y microbiológicos que pueden ser una amenaza para la salud pública si no es controlada desde su producción primaria hasta su consumo final. Este manual técnico tiene como propósito brindar a los operadores y personal técnico información útil y precisa para operar y mantener la planta.

OBJETIVO

1. Obtener leche de alta calidad, libre de bacterias y patógenos cumpliendo con altos estándares de seguridad y mantenimiento, además proporcionar información técnica al personal que opera la planta de pasteurización.

ÍNDICE

INTRODUCCION	3
OBJETIVO	4
SEGURIDAD DE PROCESO	6
PASTEURIZACION	6
CONDICIONES MÍNIMAS DE OPERACIÓN	7
OPERACIÓN PLANTA PASTEURIZADORA DE LECHE	8
PLANTA DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE	9
OPERACIÓN PLANTA PASTEURIZADORA DE LECHE	18
MANTENIMIENTO DE PLANTA PASTEURIZADORA	20

INDICE DE ILUSTRACION

Ilustración 1. Vestimenta correcta para ingresar a la planta.	6
Ilustración 2. Índices de operación.	7
Ilustración 3. Planta pasteurizadora	8
Ilustración 4. Indicación de seguridad	8
Ilustración 5. Tanque de leche cruda	9
Ilustración 6. Bomba de leche	10
Ilustración 7. Bomba de agua Calentamiento	10
Ilustración 8. Intercambiador de calor	11
Ilustración 9. Caldera calentamiento de agua	11
Ilustración 10. Válvula manual cierre rápido	12
Ilustración 11. Electroválvula	13
Ilustración 12. Tuberías en acero inoxidable	14
Ilustración 13. Tablero de control	15
Ilustración 14. Tablero de fuerza	16
Ilustración 15. Transmisor de temperatura	17
Ilustración 16. Trasmisor de nivel	18
Ilustración 17. Bomba de agua	20
Ilustración 18. Precaución	21
Ilustración 19. Hmi	22

SEGURIDAD DE PROCESO

PASTEURIZACION

La pasteurización es un proceso que combina tiempo y temperatura cuyo objetivo es destruir patógenos y microorganismos que se pueden encontrar en la leche cruda. Además, disminuye y prolonga la vida útil del producto sin alterar sus propiedades nutritivas.

- Vestido apropiado para plantas de alimentos
- Condiciones mínimas de operación



Ilustración 1. Vestimenta correcta para ingresar a la planta.

SEGURIDAD DE PROCESO

CONDICIONES MÍNIMAS DE OPERACIÓN

La planta pasteurizadora de leche debe con contar con servicios básicos para su operación como los son:

- A. Suministro de agua potable
- B. Suministro de energía eléctrica 220 vac trifásicos.
- C. Servicio de aguas residuales de proceso

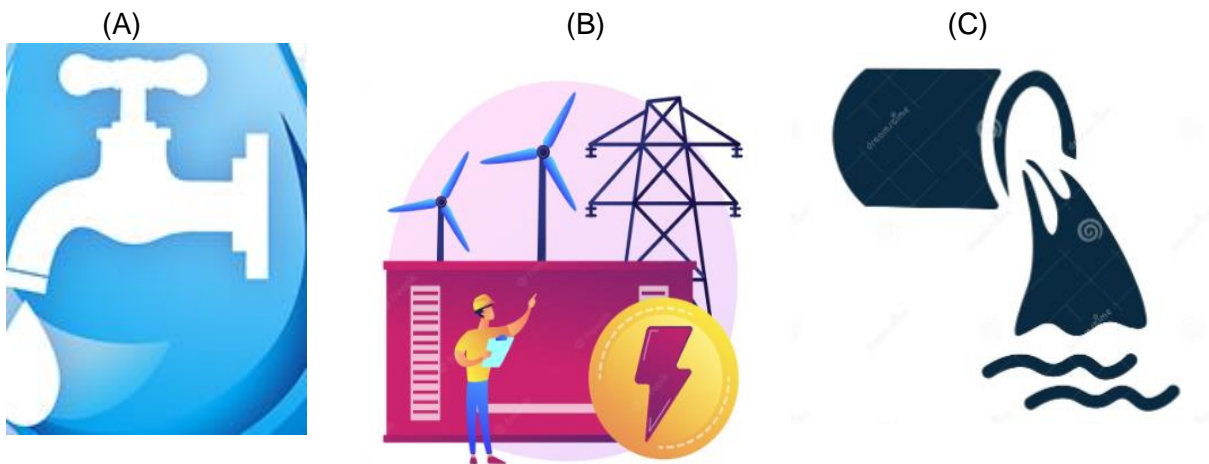


Ilustración 2. Índices de operación.

OPERACIÓN PLANTA PASTEURIZADORA DE LECHE



Ilustración 3.



Ilustración 4.

Por su seguridad revise las instrucciones y recomendaciones de este manual técnico.

OPERACIÓN PLANTA PASTEUROZADORA DE LECHE

PLANTA DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE

Esta planta cuenta con un pasteurizador tipo “intercambiador de calor de placas” de la marca alfa Laval, el cual consta de un conjunto de placas de acero inoxidable unidas mediante una goma sintética que sella las entradas y salidas de las placas para evitar la mezcla de los dos fluidos (agua y leche) que circulan en ellas.

- **Tanque de leche cruda:** Es un recipiente de acero inoxidable de una capacidad de 50 litros, el cual se emplea para el almacenamiento de la leche. El tanque está conectado a través de tuberías a un ducto que permite el ingreso de leche cruda y a la bomba de alimentación de leche.



Ilustración 5.

- **Bomba de alimentación de leche:** Se ubica en el aparte inferior del equipo de pasteurización, está conectada al tanque de leche cruda y al intercambiador de placas. Consta de una bomba de 1 HP la cual regula el flujo de leche que alimenta al equipo pasteurizador.
- **Bomba de alimentación de agua caliente:** Alimenta de agua caliente al intercambiador de placas desde el calderín.

Bomba de leche



Ilustración 6.

Bomba de agua caliente

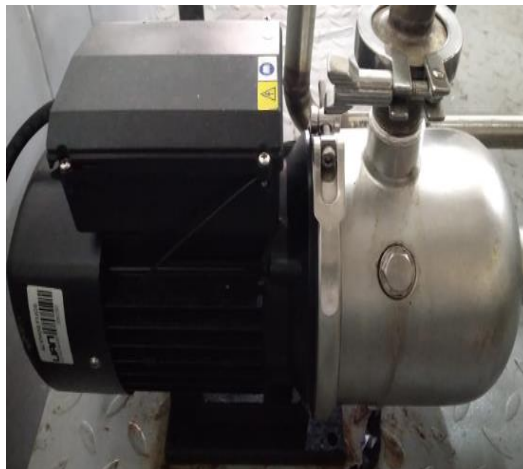


Ilustración 7

- **Intercambiadores de placas:** Es la parte central del equipo de pasteurización, está formado por tres secciones: precalentamiento, sostenimiento y calentamiento.



Ilustración 8

- **Caldera:** Es un tanque de acero inoxidable ubicado en la parte superior del equipo, su función es almacenar y calentar el agua para el proceso de pasteurización, consta de tres resistencias de 1500watt y un sistema automático - manual para reponer el nivel de agua.



Ilustración 9.

- **Válvulas:** Son de acero inoxidable que al girarlas permiten el paso de los fluidos en diferentes sentidos.



Ilustración 10.

- **Electroválvulas:** permite el paso de leche o agua para el control de reciclo de temperatura para el proceso de pasteurización accionadas desde el PLC.



Ilustración 11.

- **Tuberías:** Son conductos de forma tubular de acero inoxidable cuya función es la distribución de leche, vapor y agua.



Ilustración 12.

- **Tablero de control:** cofre metálico ubicado en la parte frontal del equipo. Consta de pulsador de emergencia, pulsadores start – stop, plc y panel view.



Ilustración 13.

- **Tablero de fuerza:** ubicado en la parte izquierda de la planta. Costa de protecciones eléctricas, contactores, relés de estado sólido, fuente 24vdc



Ilustración 14.

Trasmisores de temperatura: indican la cantidad de temperatura de la leche agua durante el proceso de pasteurización.



Ilustración 15.

- **Trasmisores de nivel:** indica en nivel del tanque de producto terminado y para el proceso cuando este está lleno.



Ilustración 16.

- **Bomba de agua del calderín y tanque de almacenamiento:** tanque de almacenamiento de agua de 30 litros y bomba gobernada por el controlador de nivel.



Ilustración 17.

Tabla de equipos en planta pasteurizadora 1.

Equipo	TAG	Función
Intercambiador	E-01	Intercambiador de placas planas calentador de leche
Intercambiador	E-02	Intercambiador de placas planas de sostenimiento de calefacción
Intercambiador	E-03	Intercambiador de placas planas precalentador
Caldera	HB-01	Recipiente para el almacenar agua de calentamiento
Bomba de agua caldera	P-03	Bomba de ¾ HP 25L/min
Caldera	HB-01	Calentador de agua caliente hasta 110°C
Intercambiador de Precalentamiento.	E-03	Área de transferencia de 3.9m ²
Intercambiador de Calentamiento.	E-01	Área de transferencia de 4.9m ²
Intercambiador de Sostenimiento.	E-02	Área de transferencia de 5.9m ²
Tanque para leche Cruda.	TK-01	Tanque cilíndrico de 40L
Tanque para leche Pasteurizada	TK-02	Tanque cilíndrico de 40L
Tanque reposición nivel agua calderas	TK-03	Tanque cilíndrico de 40L
Tanque de enfriamiento	TK-04	Tanque cilíndrico de 40L

Bomba para leche Cruda.	P-01	Bomba de 1HP con 30L/min
Bomba para agua Caliente.	P-02	Bomba de 1HP con 30L/min
Transductor de nivel del Tanque para leche Pasteurizada	LT-01	Transductor de presión de 0 – 300” H2O

OPERACIÓN PLANTA PASTEURIZADORA DE LECHE

Siga estas recomendaciones de seguridad antes de operar la planta de pasteurización.



Ilustración 18

Procedimiento de arranque

Para dar arranque seguro a la planta pasteurizadora siga las siguientes recomendaciones:

1. verifique que los tanques estén limpios, de lo contrario realice limpieza antes de comenzar.
2. Verifique que las válvulas de paso estén buen estado, que no haya fuga en las uniones, si están flojas reajuste.
3. Verifique nivel de agua de la caldera. HB-01
4. Verifique nivel tanque de reposición agua caldera. TK-04
5. Vierta la leche en el tanque de almacenamiento TK-01
6. Establezca set point de temperaturas de acuerdo método de pasteurización en panel
7. De arranque seguro a la planta de pasteurización con el botón START en el panel o pulsador local
8. Verifique que enciendan bomba de agua caliente P-02 e inicie el calentamiento del agua con las tres resistencias encendidas, confirme en el panel y verifique el aumento progresivo de la temperatura en TT-01.
9. Espere mientras el agua alcanza una temperatura de 60° Celsius y la bomba P-01 encienda para el precalentamiento de la leche.

10. Verifique que la leche alcance el set point y tiempo establecido de acuerdo con el método de pasteurización, luego de esto se acciona la solenoide ES-02, para dar paso al tanque TK-02 de leche pasteurizada.
11. Verifique el encendido del sistema de refrigeración del tanque de leche pasteurizada hasta llegar a temperatura ambiente.
12. Una vez el tanque de leche pasteurizada llegue al set point establecido dará por terminado el bache de producción abriendo paso a otro a otra etapa de proceso.
13. En caso de emergencia esta planta cuenta con dos paradas de emergencia una en el panel y otra local en el tablero de control.

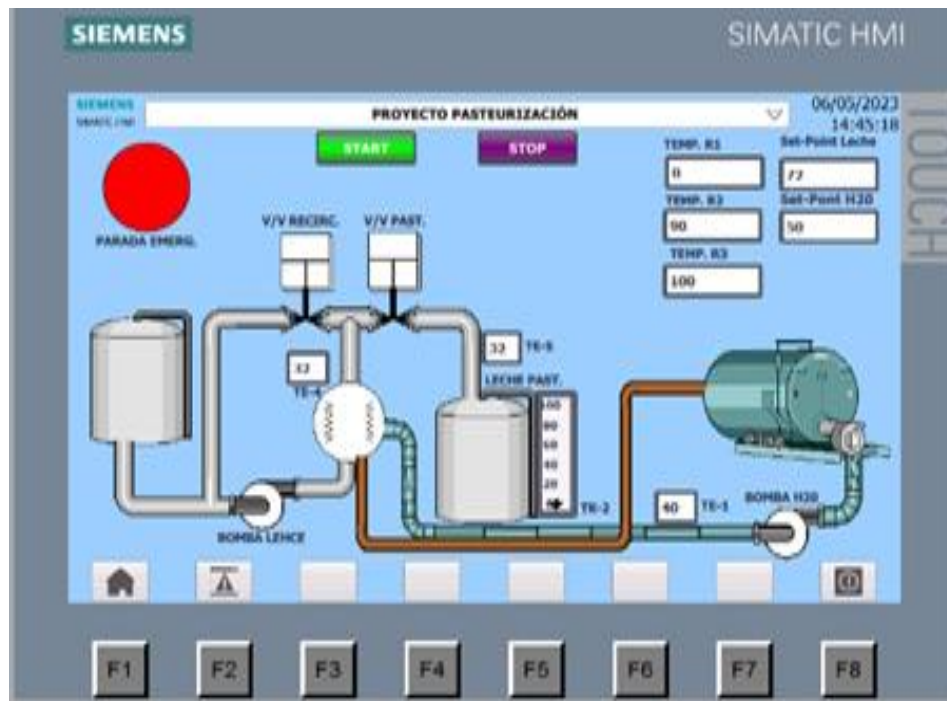


Ilustración 19.

MANTENIMIENTO DE PLANTA PASTEURIZADORA

Siga estas recomendaciones de seguridad antes de realizar manteniendo a la planta pasteurizadora

Obligación de uso de E.P.I.S.



ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

ACTIVIDADES	DIARIAS	SEMANAL	MENSUAL	RESPONSABLE
Limpieza de equipos, tanques, tuberías	x			Operador de plata
Retro lavado de tubería de proceso	x			Operador de plata

Inspección a motores	x			Tec. Mantenimiento
Inspección a resistencias	x			Tec. Mantenimiento
Toma de consumos de corriente a motores y resistencias		x		Tec. Mantenimiento
Verificar fugas		x		Tec. Mantenimiento
Verificar estado de placas intercambiadores			x	Tec. Mantenimiento
Mantenimiento limpieza, ajuste tablero de control y fuerza			x	Tec. Mantenimiento
Limpieza de resistencias y cambió de ser necesario			x	Tec. Mantenimiento
Calibración a transmisores de temperatura			x	Tec. Mantenimiento