

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



TESIS

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA
AUTOMATIZAR LA LÍNEA DE PASTEURIZACIÓN DE LA PLANTA
LECHERA LAIVE - AREQUIPA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. JUAN CARLOS TORRES YTO

Bach. RISALD ANTONIO LEÓN VILLANUEVA

TACNA – PERÚ

2023

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA
AUTOMATIZAR LA LÍNEA DE PASTEURIZACIÓN DE LA PLANTA
LECHERA LAIVE - AREQUIPA”**

Tesis sustentada y aprobada el 23 de diciembre de 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE	:	Dr. ANIBAL JUAN ESPINOZA ARANCIAGA
SECRETARIO	:	Mtro. MARCO ANTONIO COLOMA YUNGANINA
VOCAL	:	Mag. JOSÉ MARCIAL SUMARRIVA BUSTINZA
ASESOR	:	Mtro. MARKO JESÚS POLO CAMACHO

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Mostros, Juan Carlos Torres Yto y Risald Antonio León Villanueva, egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 48183971 y DNI 45586191 respectivamente, así como Marko Jesús Polo Camacho con DNI 70445009; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulada: “*Diseño y Simulación de un Sistema de Control Para Automatizar la Línea de Pasteurización de la Planta Lechera Laive - Arequipa*”, la cual presentamos para optar el Título profesional de Ingeniero Electrónico.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

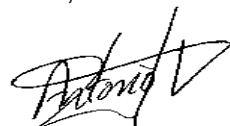
En virtud de lo expuesto, asumo frente a La Universidad toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, me comprometo, ante La Universidad y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, acepto todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de mis acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 12 de diciembre del 2023


Juan Carlos Torres Yto
DNI 48183971


Risald Antonio León Villanueva
DNI 45586191


Marko Jesús Polo Camacho
DNI 70445009

DEDICATORIA

"A mi madre Justina y a mis hermanos Walther, Reynaldo, Beto, Gabi, quienes siempre han sido mi familia y mi mayor apoyo. A mi madre, quien ha sido como padre y madre para mí, agradezco su amor incondicional, su fuerza y su dedicación. A mis hermanos, gracias por estar siempre a mi lado y apoyarme en cada paso de mi vida. Esta tesis es un testimonio de mi gratitud hacia ustedes y un reflejo del sacrificio y la dedicación que han mostrado a lo largo de mi carrera académica. ¡Los quiero mucho!"

Juan Carlos Torres Yto

"A mi esposa Yanett, por su apoyo y animo que me brinda día a día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales"

"A mi adorado hijo Franco y a mi nuevo bebe Summer a quien siempre cuidare para verlos hecho personas capaces que puedan valerse por sí mismo"

"A mis padres, quienes son mi guía desde mi infancia"

Esta tesis es un testimonio de mi gratitud hacia ustedes y un reflejo del sacrificio a lo largo de mi carrera académica. ¡Los quiero mucho!".

"A mis docentes que durante toda la etapa universitaria en la que nos enseñaron poco a poco a parte sus conocimientos sus anécdotas en el campo donde se desarrolla y así poder darnos esa pequeña ventana por la cual poder ver la vida de profesional que aguarda".

Risald Antonio León Villanueva

AGRADECIMIENTOS

"Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que me han apoyado durante este proceso. En primer lugar, a mi familia por su amor incondicional, comprensión y paciencia. Agradezco a mis amigos de EPIE por su apoyo y ánimo en momentos difíciles. También quiero agradecer a mis profesores y compañeros de clase por su guía, conocimientos y por compartir su experiencia conmigo. Finalmente, gracias a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo, su apoyo y colaboración ha sido fundamental en este logro."

Jua Carlos Torres Yto

"Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia. En primer lugar, a mi esposa, por brindarme su apoyo incondicional durante todo el desarrollo de la carrera universitaria y la realización de este proyecto."

"A los docentes universitarios que me acompañaron a lo largo de mi estadía en la universidad, por compartir su conocimiento y experiencias".

"A mis compañeros de la universidad, con los que comparto gratos momentos

"A mi tutor, por su invaluable ayuda".

Risald Antonio León Villanueva

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD 1.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	3
1.2.1. Formulación del Problema General.....	3
1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos.....	3
1.3. Justificación e Importancia.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes del Estudio.....	5
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	5
2.2.2. Antecedentes nacionales.....	6
2.2. Bases teóricas.....	7
2.2.1. Concepto de Pasteurización.....	7
2.2.2. Tipos de pasteurización.....	7
2.2.3. Partes de un pasteurizador.....	12
2.2.5. La pirámide de la automatización.....	17
2.2.6. Arquitectura de un sistema de producción.....	19
2.3. Definición de términos.....	22
2.3.1. Pasteurización.....	23

2.3.2	Actuador.....	23
2.3.3	Transductor.....	23
2.3.4	HMI.....	24
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....		25
3.1.	Tipo, nivel y diseño de la Investigación.....	25
3.1.1	Tipo de Investigación.....	25
3.1.2	Nivel de la Investigación.....	25
3.1.3	Diseño de la Investigación.....	25
3.2	Acciones y actividades.....	25
3.2.1	Estudio de campo.....	25
3.2.2	Estudio de gabinete.....	25
3.3	Materiales y/o instrumentos.....	26
3.3.1	Materiales empleados en la recolección de datos.....	26
3.3.2	Instrumentos para la recolección de los datos.....	26
3.4	Población y/o Muestra del Estudio.....	27
3.4.1	Muestra de Estudio.....	27
3.5	Operacionalización de Variables.....	27
3.6	Procesamiento de la pasteurización de la leche.....	28
3.6.1	Requerimientos del proceso.....	28
3.6.2	Diseño conceptual.....	39
3.6.3	Diseño de detalle.....	54
3.7	Procesamiento y análisis de datos.....	91
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		92
4.1	Análisis de los resultados.....	92
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		105
CONCLUSIONES.....		106
RECOMENDACIONES.....		107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		108
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....		110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Combinaciones de tiempo y temperatura de pasteurización	8
Tabla 13. Operacionalización de variable.....	28
Tabla 2. Etapas de la pasteurización.....	33
Tabla 3. Registro de fallas de controlador del pasteurizador.	36
Tabla 4. Etapas del proceso de pasteurización.	40
Tabla 5. Valores resistivos del sensor pt100 (-190 °c a 299°c).....	45
Tabla 6. Valores resistivos del sensor pt100 (300°c a 849°c).....	46
Tabla 7. Etapas del proceso de pasteurización.	55
Tabla 8. Variable que se van a controlar.	56
Tabla 9. Módulos que necesita el plc para control de variable.....	57
Tabla 10. Implementación de maqueta.....	60
Tabla 11. Tabulación de valores obtenidos.	66
Tabla 12. Variables del proyecto.	87
Tabla 14. Etapas del pasteurizado.	91
Tabla 15. Parámetros PID.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Prototipo de pasteurización tipo VAT.....	9
Figura 2. Pasteurización tipo HTST.....	10
Figura 3. Pasteurización tipo UHT.....	12
Figura 4. Tanque de almacenamiento de leche.....	13
Figura 5. Maquina utilizada en la automatización industrial.....	16
Figura 6. La pirámide de la automatización industrial.....	20
Figura 7. sistema de producción industrial.....	20
Figura 8. transición de tecnología cableada a programable.....	22
Figura 9. Ejemplo de un sistema.....	23
figura 10. Ubicación actual de la planta lechera - laive.....	29
Figura 11. Diagrama del proceso para la elaboración del queso.....	30
Figura 12. Punto de ubicación (pasteurización).....	31
Figura 13. Diagrama de distribución de equipos (pasteurización).....	31
Figura 14. Partes de la línea de pasteurización.....	32
Figura 15. Tablero de control del pasteurizador.....	32
Figura 16. Partes del tanque de almacenamiento.....	33
Figura 17. Botonera de arranque de motores.....	34
Figura 18. Termómetro bimetálico.....	35
Figura 19. Diagrama de conexión del controlador autonics.....	35
Figura 20. Conexión del registrador de temperatura.....	37
Figura 21. Conexión del potenciómetro con el variador de velocidad.....	38
Figura 22. Válvulas manuales empleadas en la línea de pasteurizado.....	38
Figura 23. Bomba de inox.....	39
Figura 24. Ubicación de las bombas en la línea de pasteurizado.....	39
Figura 25. Dimensiones sensor de nivel tipo presión hidrostática.....	41

Figura 26. Conexión eléctrica.....	42
Figura 27. Transmisor de presión danfos mbs 4510.....	42
Figura 28. Curva característica de un sensor pt100.	43
Figura 29.sensor pt100.	44
Figura 30. Conexión de 3 hilos.....	44
Figura 31. Conexión de la válvula de asiento inclinado burkert.	33
Figura 32. Válvula de asiento burkert.	48
Figura 33. Válvula de dos vías.	49
Figura 34. Válvula de tres vías.	49
Figura 35. Actuador neumático.....	50
Figura 36. Electroválvulas posición 3/2-5/2	51
Figura 37. Interruptor de flujo de leche.....	52
Figura 38. Pantalla hmi tp1500.....	53
Figura 39. Variador de velocidad.....	53
Figura 40. Conexión eléctrica del variador de velocidad.....	54
Figura 41. Diagrama esquemático con el plc siemens y la pantalla hmi.	55
Figura 42. Variables a controlar en el sistema de pasteurizado.....	56
Figura 43. Diagrama de flujo de control pid - temperatura.....	587
Figura 44. Flujo de inicio de control de válvulas y bombas.....	58
Figura 45. Diagrama esquemático de la maqueta.	60
Figura 46. Creación del proyecto en tía portal v16.	61
Figura 47. Selección de plc.	62
Figura 48. Configuración del módulo rtd.....	63
Figura 49. Configuración sensor pt100.....	63
figura 50. Configuración del signal board.	64
Figura 51. Configura para una salida por voltaje	64
Figura 52. configuración bloque pid.....	65
Figura 53. Valor manual al 50 %	65

Figura 54. Puesta en servicio del "pid_compact_1"	66
Figura 55. Información extraída desde el data logger.....	67
Figura 56. Método no tangente fopdt.....	68
Figura 57. Representación de la función de transferencia.....	70
Figura 58. Generación de un nuevo proyecto.....	71
Figura 59. Incorporación de la pantalla hmi ktp 1500.	72
figura 60. Programación de los sensores de nivel.	73
Figura 61. Programación de los sensores de temperatura.	73
Figura 62. Control de agitadores.	74
Figura 63. Control de sistema de pasteurización.....	75
Figura 64. Permisos para generar excel.....	76
Figura 65. Activación de la utilización de byte	76
Figura 66. Creación del bloque de datos.	77
Figura 67. Bloque de datos.	77
Figura 68. Variable del bloque de data logger.	78
Figura 69. Bloque datalogwrite.....	78
Figura 70. Bloque de datos-temperatura de pasteurizado	79
Figura 71. Control de caudal.	80
Figura 72. Ingreso del bloque pid.....	80
Figura 73. Bloque pid.	81
Figura 74. Salida del bloque pid.	81
Figura 75. Activación del modo automático.	82
Figura 76. Configuramos de la entrada y salida.	82
Figura 77. Configuración de límites.	83
Figura 78. Configuración de monitorización.....	83
Figura 79. Configuración de los límites de salida.	84
Figura 80. Configuración de los parámetros pid	84
Figura 81. Respuesta de los parámetros de función de transferencia.	85

Figura 82. Optimización fina.....	85
Figura 83. Parámetros pid obtenidos con la optimización fina.	86
Figura 84. Parámetros pid modificados.	86
Figura 85. Parámetros pid modificados en la estabilidad del proceso.	86
Figura 86. Línea de pasteurización.	88
Figura 87. Control de agitadores.	88
Figura 88. Registro del nombre del archivo.	89
Figura 89. Curva que genera la variable de proceso vs el set point.....	89
Figura 90. Maqueta implementada en la simulación del proceso.....	92
Figura 91. Conexión de los dispositivos para simular el proceso.....	92
Figura 92. Estabilidad de la variable del proceso	93
Figura 93. Proceso de pasteurización	94
Figura 94. Muestra de la línea de pasteurizado en stop.	95
Figura 95. Selección de tanque 01	95
Figura 96. Activación de interruptor n°1.....	96
Figura 97. Activación de interruptor n°2.....	96
Figura 98. Habilidad de válvulas y bombas del tanque 02.	97
Figura 99. Encendido y apagado del agitador 1.	97
Figura 100. Encendido y apagado del agitador 2.	98
Figura 101. Visualización del nivel del tanque 1.....	98
Figura 102. Visualización del nivel del tanque 2.....	99
Figura 103. Visualización de la temperatura de la leche del tanque 1	99
Figura 104. Visualización de la temperatura de la leche del tanque 2.	100
Figura 105. Ingreso del caudal de 8000 l/h.....	100
Figura 106. Conversión de caudal a voltaje.....	101
Figura 107. Pantalla emergente para crear el archivo en excel.	101
Figura 108. Registro del nombre del archivo.	102
Figura 109. Documento en excel generado por el data logger.	103

RESUMEN

La investigación desarrollada en el trabajo de tesis fue del tipo aplicada. tuvo como objetivo principal diseñar y simular un sistema de control para automatizar la línea de pasteurizado en la planta lechera LAIVE ubicado en la región del Arequipa, siendo sus objetivos específicos identificar las etapas del proceso de pasteurización de la planta lechera, seleccionar los dispositivos y equipos electrónicos requeridos en el diseño del sistema de control PID y proceder a su simulación con la finalidad de comprobar el funcionamiento del diseño propuesto. Para el desarrollo de la investigación, se abordó la metodología del diseño en ingeniería, en el cual se identificaron los requerimientos del proceso, se realizó el diseño conceptual a partir de la identificación de la función o funciones de cada uno de los módulos propuestos, y se planteó el diseño de detalle considerando las especificaciones técnicas del proceso a controlar. En la simulación de la línea de pasteurizado de la leche, se implementó un módulo electrónico empleando el Controlador Lógico Programable SIMATIC S7 1200 y el software TIA Portal v16. Los parámetros del control PID, que se obtuvieron de su función de transferencia y el empleo del método de auto-sintonización con optimización fina, permitieron la creación de un sistema de control estable y eficaz.

Palabras clave: Pasteurización; Control PID; Controlador Lógico Programable; Interfaz HMI.

ABSTRACT

The research developed in the thesis work was of the applied type. had as main objective to design and simulate a control system to automate the pasteurization line in the LAIVE dairy plant located in the Arequipa region, its specific objectives being to identify the stages of the pasteurization process of the dairy plant, select the devices and equipment electronics required in the design of the PID control system and proceed to its simulation in order to verify the operation of the proposed design. For the development of the research, the engineering design methodology was addressed, in which the process requirements were identified, the conceptual design was carried out based on the identification of the function or functions of each of the proposed modules, and the detailed design was raised considering the technical specifications of the process to be controlled. In the simulation of the milk pasteurization line, an electronic module was implemented using the SIMATIC S7 1200 Programmable Logic Controller and the TIA Portal v16 software. The PID control parameters, which were obtained from its transfer function and the use of the self-tuning method with fine optimization, allowed the creation of a stable and efficient control system.

Keywords: Pasteurization; PID control; Programmable Logic Controller; HMI Interface.

INTRODUCCIÓN

La alimentación del ser humano siempre ha sido una necesidad vital importante, que permite garantizar su supervivencia. Desde los inicios de la civilización humana, el hombre siempre ha buscado preservar los alimentos en buenas condiciones de higiene.

La técnica de pasteurización fue descubierta por Louis Pasteur el 20 de abril de 1864 con la ayuda de Claude Bernand. Empleada inicialmente para combatir el deterioro de los vinos, posteriormente se aplicó en la higienización de la leche. Es un proceso térmico que al someter la leche u otro líquido puede reducir los agentes patógenos como: bacterias, protozoos, mohos, etc.

El objetivo de esta tesis está dirigida a presentar un diseño y simulación de un sistema de control para automatizar la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE, utilizando el controlador lógico programable SIMATIC S7 1200.

Por esta razón, una de las mejores técnicas existentes que nos permita lograr el objetivo planteado en este trabajo de tesis, es implementar un sistema de control automático para el proceso de pasteurización de la leche, los mismos que mejoran, el tiempo de producción, la cantidad del producto, la calidad del mismo y disminuyen los errores dentro de la producción.

La presente tesis está compuesta por cinco capítulos: Capítulo I, El problema de investigación, se refiere a la descripción del problema, formulación del problema, justificación y objetivos; Capítulo II, denominado Marco Teórico, se presentan los antecedentes del estudio, la base teórica y definición de términos; Capítulo III, denominado Marco metodológico, se detalla el diseño de la investigación, acciones y actividades, materiales y/o instrumentos, operacionalización de variables y el procesamiento y análisis de datos; Capítulo IV, denominado Resultados, se describen los resultados obtenidos en el diseño y simulación DE un sistema de control para automatizar la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE además de mostrar los criterios de programación utilizando el software TIA PORTAL y validando la lógica de programación del sistema de pasteurizado a través de la interfaz HMI y el Capítulo V denominado Discusión o Análisis de los resultados, se analizan, interpretan y discuten los resultados en relación a la implementación de un sistema automatizado, utilizando el controlador PLC S7 1200 y su interfaz HMI. Finalmente, se presentarán las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del Problema

La empresa LAIVE se estableció en 1910 con el nombre de Sociedad Ganadera del Centro S.A.

Lo primero que se empezó a producir fue la mantequilla, ya que era lo único que se podía transportar en el lomo de burro.

Posterior a esto se inició la producción de queso en un terreno en el distrito de Ate en la ciudad de Lima, instalando las primeras máquinas para terminar de procesar los productos. Con la reforma agraria la compañía decidió potenciar su parte industrial en la ciudad de Lima en el distrito de Ate y en 1972 inauguró en la capital una moderna planta procesadora de productos lácteos. En 1980 se inauguró la primera planta en Arequipa, siendo los pioneros en la industria en producir quesos Gouda, Dambo, Edam, Cuartirolo y parmesano. En 1994 se cambia de razón social a Laive S.A.

Actualmente en la planta de LAIVE – Arequipa fundada en 1980 siguiendo uno de sus objetivos principales que es la mejora continua de sus productos, es sumamente importante tener un buen control en la línea de pasteurización.

El problema que existe en la actualidad, es que la línea de pasteurización no está automatizada, ocasionando que el operador este revisando y manipulando constantemente diferentes variables (nivel de leche, temperatura de la leche, temperatura de pasteurización, caudal de ingreso y salida de leche, registro de temperaturas) y actuadores (válvulas, bombas de agua y leche).

El nivel de leche: Para poder visualizar el nivel de los tanques de leche se tiene que subir a una escalera tipo gato por lo menos 10 veces por un turno de 8 horas, aumentando el riesgo de accidentabilidad del operador.

La temperatura de la leche: Se tiene un indicador de temperatura que constantemente falla por la humedad del ambiente, ocasionando que muestre lecturas erróneas de temperatura. Causando el deteriora miento de la leche.

Temperatura de pasteurización: El sistema de control de la línea de pasteurizado actualmente cuenta con un controlador de temperatura electrónico automatizado que realiza un control PID para poder pasteurizar la leche tomando como variable de proceso un valor entre 71,5 – 72,5 °C, que son monitoreados manualmente por el operador.

Este controlador que actualmente se utiliza presenta problemas de oscilación de temperatura después de tres meses de funcionamiento. además de fallas en las botoneras y recalentamiento del circuito.

Registro de temperaturas: Actualmente no se cuenta con un historial de que registre la temperatura de dicho proceso, cabe mencionar que esto es importante para poder tener trazabilidad desde temperaturas desde el inicio hasta el final de proceso.

Caudal de salida de producto: El operario tiene que estar constantemente regulando la velocidad de la bomba de leche para que este pase a 8000 l/h cuando ya se terminó de pasteurizar la leche, siendo esto un control manual.

Válvulas y bombas: Todas las válvulas de la línea de pasteurizado son manuales, ocasionando que en ciertas oportunidades el operario se equivoque al manipular dichas válvulas.

Además de que las bombas de pasteurización son manuales y no tienen un control automático.

En los últimos años se ha venido presentando mantenimientos correctivos no programados por falla del controlador de pasteurización, causando retrasos en la producción.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Formulación del Problema General

¿Con el diseño y simulación de un sistema de control se logrará automatizar la línea de pasteurización de leche planta lechera Laive – Arequipa?

1.2.2. Formulación de los Problemas Específicos

- a. ¿Qué dispositivos son los más adecuado para el diseño de la automatización de la línea de pasteurización de leche?
- b. ¿Qué software son los más adecuado para el diseño de la automatización de la línea de pasteurización de leche?
- c. ¿Qué variables se deben tomar para el diseño y simulación de la línea de pasteurización de leche?

1.3. Justificación e Importancia

Las condiciones actuales de la línea de pasteurización de la planta lechera Laive – Arequipa, presentan un bajo porcentaje de automatización, causando inconvenientes en el proceso como, por ejemplo:

- Retrasos en la producción por mala maniobra (operación)
- Perdidas en la producción por lotes contaminador (deficiencia del controlador)
- Riego accidentes por operación.

El diseño de un sistema automatizado de control y supervisión de la línea de pasteurizada planta LAIVE – Arequipa, beneficiaria la empresa con:

Reducción de costos: En el proceso de pasteurizado se trabaja con dos operarios, al momento de automatizar la línea de pasteurización de leche, esto nos permitirá trabajar con solo un operador, reduciendo os costos por operación.

Reducción de tiempos y aumento de productividad: El proceso de automatizado no permitirá realizar la misma operación en un menor tiempo, ampliando a si el aumento de productividad.

Mejor trazabilidad en el proceso: Al obtener un historial de temperaturas de proceso se podrá identificar, en ocasiones de forma inmediata cualquier situación de contaminación del producto.

Reducción del índice de accidentes: Al estar automatizado la línea de pasteurizado, el operador no se expone demasiado a zonas de riesgo,” alturas, zona calientes y atrapamiento en tuberías).

Es por esto, que se plantea el diseño y simulación de un sistema de control para automatizar la línea de pasteurización de la planta lechera Laive – Arequipa.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar y simular un sistema de control para automatizar la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Seleccionar los dispositivos y equipos electrónicos requeridos en el diseño de un sistema de control.
- b. Identificar las etapas en que consiste el proceso de pasteurización de la planta lechera.
- c. Simular un sistema de control para comprobar el funcionamiento del diseño propuesto.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Gallegos y Ricaurte (2016) en su trabajo de titulación “Optimización del proceso de pasteurización de la leche utilizando un controlador lógico programable PLC y monitoreo con un interfaz humano máquina HMI, con fines de desarrollo tecnológico y didáctico en la planta de lácteos de la estación experimental TUNSHI – ESPOCH, plantearon como objetivo general de su investigación “optimizar el proceso de pasteurizado de la leche utilizando un PLC y monitoreado con un interfaz HMI, con fines de desarrollo tecnológico y didáctico en la planta de lácteos de la Estación Experimental TUNSHI – ESPOCH” (p.2).

Las conclusiones a las que llegaron fueron, primero: “el tiempo total de producción se redujo con la automatización del proceso de pasteurización, ello debido a que se optimizó el control de la válvula de desvío, permitiendo realizar el mismo volumen de leche con menos recursos” (Gallegos y Ricaurte, 2016, p.97); como segunda conclusión, “la automatización facilitó la optimización del proceso de pasteurización, permitiendo cumplir estrictamente con las temperaturas de pasteurizado y tiempos de lavado, garantizando las propiedades nutritivas del producto final y la adecuada limpieza de equipos y tuberías respectivamente” (Gallegos y Ricaurte, 2016, p.97).

Hernández, Llerena y Morris (2013) en su trabajo de tesis “Implementación de automatización de proceso de producción de leche ultra-pasteurizada” propusieron como objetivo general, “automatizar un proceso de ultra-pasteurización, para mejorar la confiabilidad de proceso, tanto en un buen funcionamiento de producción secuencial y continua, como una fácil detección de fallas durante el trabajo (p.1).

Para el desarrollo de la investigación, se Implementó un tablero de control PID basado en un autómeta y la interfaz HMI incorporado (OPLC), que permitió concentrar todas las variables físicas y las señales de los actuadores presentes en el proceso de producción de leche (Hernández, Llerena y Morris, 2013).

Luego de las pruebas realizadas con el tablero de control, se concluyó que la automatización del proceso de ultra-pasteurización permitió reducir los tiempos perdidos por producción, puesto que el sistema de control programado posee una rutina de arranque secuencial, y hace que dicho proceso inicie con las condiciones de temperatura y de limpieza necesarias de la máquina, mejorando así la calidad del

producto, aumentando la producción, la confiabilidad y la seguridad del proceso (Hernández, Llerena y Morris, 2013).

Proaño (2012), en su trabajo de tesis “Control automático centralizado para optimizar el proceso de producción de leche, yogurt y queso en la planta de lácteos Marco’s”, “el objetivo general de su investigación fue diseñar un sistema de control automático centralizado, para la optimización del proceso de producción de leche, yogurt y queso en la planta de Lácteos Marco’s” (p.6).

De las conclusiones a las que llegó en su trabajo de tesis, podemos decir que “la temperatura de pasteurización es el parámetro principal que se debe controlar adecuadamente para obtener una leche pasteurizada de calidad y libre de las bacterias perjudiciales para la salud” (Proaño, 2018, p.179). La segunda conclusión a la que llegó fue que “un control adecuado del agua helada hace que la leche pasteurizada llegue a una temperatura de almacenamiento idóneo, que va a mantener en óptimas condiciones al producto para su venta (Proaño, 2018, p.179). Como tercera conclusión a la que arribó fue, “el monitoreo central al ser diseñado en LabVIEW, nos permite observar el funcionamiento de los distintos procesos de producción, detectar alarmas o anomalías y registrar datos necesarios de cada proceso” (Proaño, 2018, p.179).

2.2.2. Antecedentes nacionales

Para Sulcahuamán (2017) en su tesis de título “Diseño e implementación de un sistema de control para pasteurizar leche materna” manifestó que, dentro de las conclusiones, se logró “construir un pasteurizador de leche materna, de 700 w de potencia de calentamiento, de 360 w de potencia de enfriamiento y que realiza la pasteurización VAT usando un temporizador que controla los 30 min que debe mantenerse en un rango de 62 a 63 °C” (p. 69).

Cuno (2015), en su trabajo de tesis “Automatización y monitoreo de una planta para pasteurización de leche”, precisó que el objetivo que persigue su investigación es “la automatización de la planta Pasteurizadora de Leche de la Quesería Kalas del Pedregal para la fabricación de queso fresco, mozzarella y parmesano mediante el desarrollo de un Sistema SCADA que controle y regule la temperatura en las diferentes etapas que realiza la pasteurizadora” (p.4).

Para el desarrollo de su investigación, se implementó un sistema SCADA basado en un PLC S7 1200 de Siemens y para la programación del sistema SCADA se empleó el software de desarrollo gráfico LABVIEW versión 2012. De los resultados obtenidos, se pudo comprobar el funcionamiento de la planta Pasteurizadora de Leche,

así como el monitoreo de la temperatura en las diferentes etapas del proceso desarrollado (Cuno, 2015).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concepto de Pasteurización

La pasteurización es un proceso que combina tiempo y temperatura (Tabla 1), cuyo objetivo es destruir los microorganismos patógenos que se pueden encontrar en la leche cruda. Además, disminuye la flora asociada, lo cual prolonga la vida útil del producto sin alterar su composición química y sus características organolépticas. (Evelyn Guaraca, 2019)

Tabla 1

Combinaciones de tiempo y temperatura de pasteurización

Temperatura (°C)	Tiempo
63	30 minutos
72	15 segundos
89	1,0 segundos
90	0,5 segundos
94	0,1 segundos
96	0,05 segundos
100	0,01 segundos

Nota. Fuente: (Martínez & Rosenberger, 2013)

2.2.2. Tipos de pasteurización

Según Tipán y Flores (2018), existen tres tipos de procesos de pasteurización:

- Proceso VAT
- Proceso HTST
- Proceso UHT

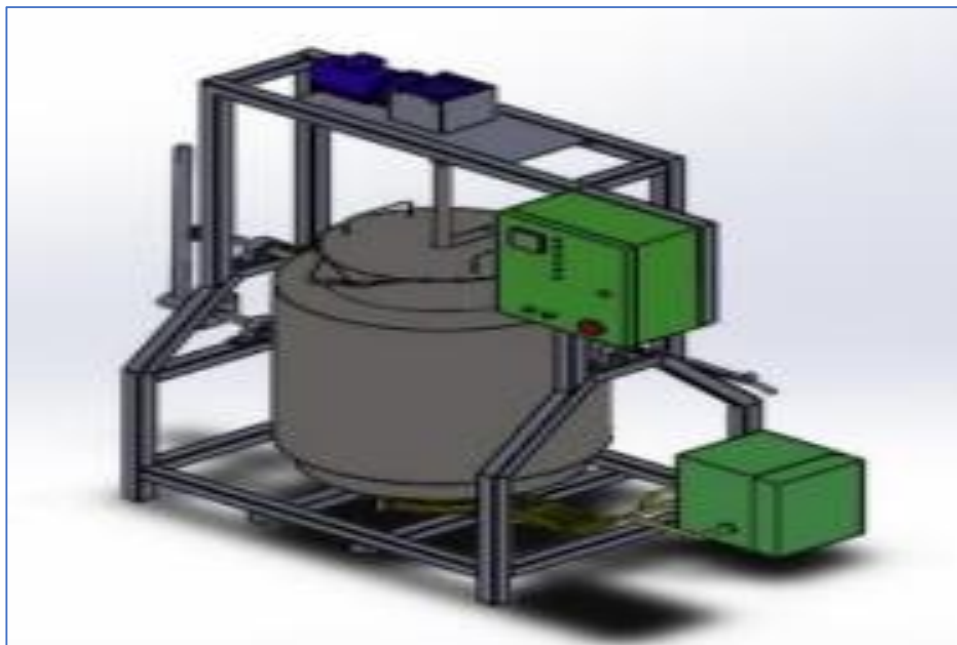
2.2.2.1. Proceso VAT

El proceso VAT se basa en calentar grandes volúmenes de leche a 63 °C en un recipiente cerrado durante 30 minutos y luego enfriarlos en el mismo recipiente

lentamente (Figura 1). Una vez enfriada la leche por más de 24 horas, se envasa para evitar la contaminación (Tipán Quispe & Flres Santo, 2018).

Figura 1

Prototipo de pasteurización tipo VAT



Nota. Tomado de Tipán y Flores (2018). Disponible en:

<https://bit.ly/3JLKC7x>

El proceso de la pasteurización lenta de la leche (VAT), presenta las siguientes ventajas:

- Permite conservar mejor el valor nutritivo de la leche y otros lácteos.
- Facilita la eliminación del moho y levaduras.
- Mediante el proceso proporciona a la leche un periodo de utilización máxima de una semana (Tipán y Flores, 2018, p.8).

El proceso de la pasteurización lenta de la leche (VAT), presenta las siguientes ventajas:

- Requiere que la leche se tiene que dejar enfriar lentamente, puede pasar un tiempo prolongado, a veces más de 24 horas.
- El tiempo de pasteurización es muy prolongado, lo que requiere de un espacio muy extenso para el tratamiento de volúmenes grandes de leche.

- La eficacia de eliminación de microorganismos patógenos y bacterianos es menor (Tipán y Flores, 2018, p.8).

2.2.2.2. Proceso HTST

Conocido también como High Temperature-Short Time, que en español significa alta temperatura y tiempo corto (Figura 2).

Según Gallegos y Ricuarte (2015), “el espacio requerido para la instalación de éste método es reducido, se caracteriza por poder procesar grandes volúmenes de leche de manera continua, así mismo la limpieza de los equipos es fácil y rápida” (p.5).

Según Tipán y Flores (2018), “es el más conveniente porque expone los alimentos a alta temperatura por poco tiempo y requiere poco equipo industrial para llevar a cabo este proceso” (p.8).

Este es uno de los procesos recomendados por el ahorro energético que tiene y al ser un proceso totalmente hermético, una vez que la leche ingresa dentro del proceso, las probabilidades de contaminación se reducen a una mínima expresión.

Figura 2

Pasteurización tipo HTST



Nota. Imagen tomada de la tesis de grado de Tipán y Flores, 2018, p.9.

Disponible en: <https://bit.ly/3YZS4jD>

El proceso de la pasteurización rápida (HTST), figura 2, presenta las siguientes ventajas:

- El requerimiento de poco equipamiento industrial para poder realizar el proceso, permite reducir de esta manera los costos de operación y mantenimiento de los equipos que intervienen en el proceso.
- Por ser de sistema cerrado se evitan contaminantes.
- El tiempo de vencimiento se alarga hasta en 5 días, con respecto a la leche pasteurizada lentamente, siempre que se mantenga en refrigerador a una temperatura no superior a 8 °C (Tipán y Flores, 2018. p. 9).

El proceso de la pasteurización rápida (HTST), presenta las siguientes desventajas:

- Requiere de varios controles estrictos durante todo el proceso de producción.
- La leche debe mantenerse refrigerada para evitar el crecimiento de los gérmenes o bacterias que no se han podido eliminar.
- Una vez que se abre el envase, se debe consumir en un plazo máximo de 3-4 días (Tipán y Flores, 2018. p. 9).

2.2.2.3. Proceso UHT

Denominada como Ultra High Temperature por sus siglas en inglés, se le conoce también como el proceso de la esterilización de la leche.

Según Gallegos y Ricuarte (2015), “la diferencia de este proceso con los otros procesos es que la temperatura se eleva por encima de los 100 °C, entre 130 y 150 °C concretamente por un tiempo de 2 a 4 segundos y se lo enfría de manera rápida o a temperatura ambiente según el producto final” (p.5).

Para Tipán y Flores (2018), el proceso UHT lo definen como “de flujo continuo y mantiene la leche a una temperatura igual o superior a la utilizada en el proceso HTST, que puede rondar los 138 °C durante al menos dos segundos. Debido a este tiempo de contacto muy corto, el deterioro de los alimentos que se produce es mínimo” (p.5). Ver figura 3.

Figura 3

Pasteurización tipo UHT



Nota. Imagen tomada de Tipán y Flores, 2018, p.10. Disponible en: <https://bit.ly/3ImCPnk>

El proceso de pasteurización a ultra rápidas temperaturas presenta las siguientes ventajas:

- Asegura la destrucción de los microorganismos patógenos.
- Envasada en condiciones asépticas evita una contaminación posterior.
- No requiere refrigeración posterior.
- Tiempo de conservación aproximadamente 6 meses (Tipán y Flores, 2018. p. 10).

El proceso de pasteurización a ultra rápidas temperaturas presenta las siguientes desventajas:

- Afecta algunos componentes de la leche: la concentración de sales, coagula la lacto albúmina, destruye en parte las vitaminas.
- Es conveniente someterla a procesos de depuración, como la centrifugación, para eliminar leucocitos, conglomerados de caseína y restos orgánicos (Tipán y Flores, 2018. p. 10).

2.2.3. Partes de un pasteurizador

2.2.3.1. Almacenamiento de la leche

Guaraca y Guaraca (2019) sostienen lo siguiente con respecto al almacenamiento de la leche: "La leche debe ser almacenada en los tanques de almacenamiento de leche cruda cuya capacidad es de 15 000 a 25 000 L, dentro de un rango de temperatura que varía entre los 2 a 4 °C durante un periodo inferior a los 30 minutos, con la finalidad de evitar la proliferación de microorganismos patógenos dentro del equipo pasteurizador, ver figura 4.

Figura 4

Tanque de almacenamiento de leche



Nota. Imagen tomada de Guaraca, E. y Guaraca, L. (2019). Planta de lácteos VIGLAC. Disponible en: <https://bit.ly/3LvboSM>

2.2.3.2. Bomba de alimentación de leche

"La bomba se ubica en el aparte inferior del equipo de pasteurización, está conectada al tanque de balance y al intercambiador de placas. Consta de una bomba de 5 HP la cual regula el flujo de leche que alimenta al equipo pasteurizador" (Guaraca y Guaraca, 2019, p.11).

La bomba de alimentación de agua caliente "alimenta de agua caliente al intercambiador de placas desde el calderín. Su funcionamiento es comandado desde el tablero de control" (Guaraca Pinto & Guaraca Siguencia, 2019, p. 11) (Guaraca y Guaraca, 2019, p.11).

El intercambiador de placas según Guaraca y Guaraca (2019), es la parte central del equipo de pasteurización, está formado por cuatro secciones de acero inoxidable: La sección A: Posee una tubería de agua fría y de descarga de leche fría; la sección B:

Ubicada en la parte central, consta de 3 tuberías.; la sección C: Posee dos tuberías, cuyas funciones es la recirculación de leche y retorno del vapor de agua hacia el calderín; la sección D: Cierra el conjunto de placas antes descritas.

El calderín según Guaraca y Guaraca (2019), “es un tanque de acero inoxidable ubicado en la parte anterior del equipo, su función es almacenar y calentar el agua para el proceso de pasteurización, este funcionamiento es controlado mediante el interruptor de electroválvula ubicado en el tablero de control. El agua ingresa a través de una tubería conectada a la red de agua de la planta” (p.11)

Las válvulas según Guaraca y Guaraca (2019), “son de acero inoxidable que al girarlas permiten el paso de los fluidos en diferentes sentidos” (p.12). El equipo está compuesto por los siguientes dispositivos: válvula de alimentación de agua fría, válvula de alimentación de vapor, válvula de alimentación de agua caliente, válvula de alimentación de leche cruda, válvula de recirculación y válvula de desviación de leche.

Las tuberías “son conductos de forma tubular de acero inoxidable cuya función es la distribución de leche, vapor y agua” (Guaraca Pinto & Guaraca Sigüencia, 2019, p. 12).

El tablero de control es una “caja de acero inoxidable, ubicada en la parte frontal del equipo. En la parte externa constan los interruptores de mando y dos termómetros electrónicos de control de temperatura y en la parte lateral se localiza la luz de emergencia” (Guaraca Pinto & Guaraca Sigüencia, 2019, p. 12).

El controlador de temperatura según Cuno (2015), “tiene el objetivo de examinar la temperatura de salida del pasteurizador, para controlar con mayor precisión el proceso, la acción se logra a través de un control manual (operador) o a través del control automático (por medio de instrumentos)”.

2.2.4 Automatización industrial

“La automatización industrial se define como la aplicación de la automática a un proceso o a un dispositivo industrial. Aquello que se quiere automatizar recibe el nombre de planta” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

La automatización se aplica tanto a los procesos de fabricación continua (industria química, petroquímica, cemento, etc.) como de piezas discretas (automóviles, electrodomésticos, muebles, etc.). Si bien en muchas ocasiones ambos tipos de procesos se dan de forma simultánea en la misma fábrica, es conveniente tratarlos por separado. En inglés se utilizan términos diferenciados para cada tipo de

fabricación: la palabra “process” se utiliza para definir la fabricación *continua*, mientras que el término “manufacturing” se utiliza para definir la fabricación de piezas *díscetas* (Barrientos et al., 2014).

Los objetivos de la automatización según Brunet, S. & Herrero, (2020) son: “Incrementar la productividad y flexibilizar las herramientas; producir con calidad constante; dedicar a los humanos a las tareas creativas”.

“El gran auge de la automatización industrial se debe a la aparición del autómatas programable (PLC), que sustituyó a los sistemas de control basados en lógica cableada y permitió incrementar la productividad y flexibilizar las herramientas y la programación” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).

2.2.4.1 Tipos de máquinas

“En la automatización industrial se utilizan principalmente tres tipos de máquinas: máquina herramienta, máquina transfer y robots” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

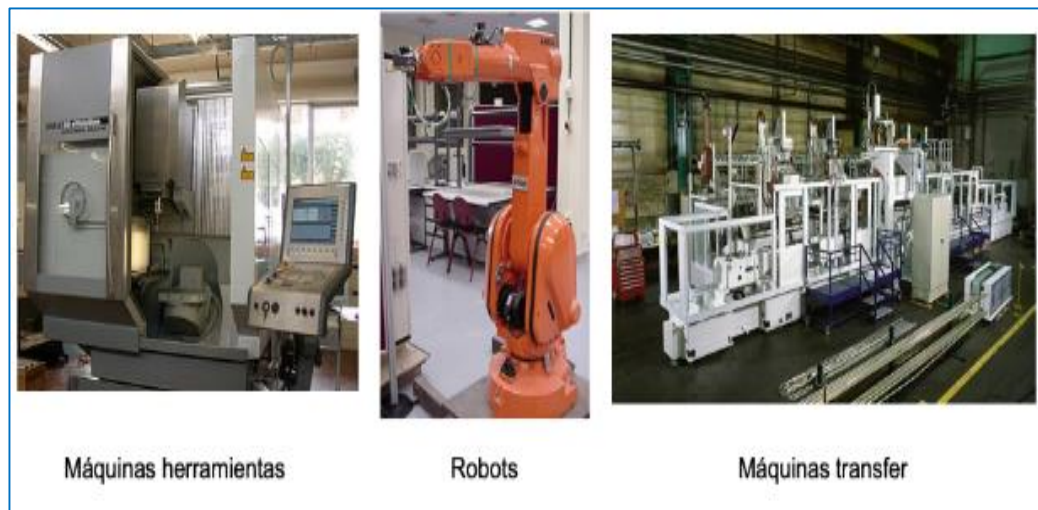
“La máquina herramienta es un tipo de máquina que se utiliza para dar forma a piezas sólidas, principalmente metales. Su característica principal es su falta de movilidad, ya que suelen ser máquinas estacionarias” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

Una máquina transfer es una máquina especialmente construida para producir una pieza específica a una alta tasa de producción. Consta de varias estaciones de elaboración sucesivas, donde se procesan las piezas de forma que se superponen los tiempos de elaboración de cada estación (se procesan a la vez varias piezas de distintas etapas): También existe una estación de carga y descarga, cuyo trabajo tiene lugar al mismo tiempo que el procesamiento. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

“El robot industrial es un manipulador programable en tres o más ejes con varios propósitos, controlado automáticamente y reprogramable. Permite utilizar varias herramientas de forma secuencial” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020). Ver figura 5.

Figura 5

Maquina utilizada en la automatización industrial



Nota. Imagen tomada de Brunete, San Segundo, & Herrero, (2020 Recuperado de <https://bit.ly/42fSFAR>)

2.2.4.2 Distribución en planta

“La distribución en planta (*Lay-out* en inglés) es la ordenación de los equipos industriales y de espacios necesarios para que un sistema productivo alcance sus objetivos con la eficiencia adecuada” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

La disposición en la fabricación puede ser:

- “Distribución basada en el producto” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).
- “Distribución basada en procesos” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).
- “Distribución híbrida o por células” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).
- “Distribución por posición fija” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).

2.2.4.3 Distribución basada en el producto

Se aplica cuando la producción es continua o repetitiva, es decir, cuando se fabrica una gran cantidad de productos de poca variedad. Los puestos de trabajo se sitúan uno junto a otro y siguen el orden de las operaciones que hay que llevar a cabo; el producto va pasando por estos puestos de trabajo a medida que se le van realizando

las operaciones correspondientes. El caso más representativo de esta distribución es el de las cadenas de montaje (por ejemplo, de electrodomésticos u automóviles) o líneas de producción. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

“Es el sistema más eficiente para producir en serie, sin embargo, un problema en una máquina puede detener todo el proceso posterior” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020). La distribución basada en procesos, es el adecuado cuando la producción se realiza en lotes de tamaño variable y de una amplia gama de productos diferentes” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

Esta variabilidad obliga a disponer de una distribución bastante flexible. En este caso, los trabajadores y los equipos se agrupan por similitud de funciones, y los productos van pasando solo por aquellas áreas a las que necesitan en su proceso productivo. Un ejemplo de este tipo de distribución son hospitales, panaderías o fabricas sin cadenas de montaje (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020). En la distribución híbrida o por células, las características del proceso productivo hacen conveniente la utilización de combinaciones entre estas formas básicas. La más común es la que mezcla las características de la distribución basada en el producto (para aprovechar su eficiencia) y la basada en el proceso (para buscar su flexibilidad), lo que da lugar a la denominada distribución por células de fabricación o trabajo. Este tipo de distribución se parece a una distribución por proceso, por el hecho de que cada célula se encuentra diseñada para desarrollar un conjunto de operaciones específicas, y a una distribución orientada al producto, porque se elaboran pocos artículos con características parecidas. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

En la distribución por posición fija, corresponde a procesos productivos por proyecto. Cuando no es posible mover el producto, este permanece inmóvil. En ese caso, el personal, los materiales, los equipos y las herramientas son los que se desplazan. La distribución en planta se encarga de colocarlos en torno al emplazamiento del proyecto (muchas veces, en círculos concéntricos) en función del nivel de uso, es decir, a mayor grado de utilización, mayor proximidad. Ejemplo: construcción de barco o avión. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

Grados de automatización: la automatización de la producción se puede realizar con mayor o menor flexibilidad. Entonces hablamos de automatización rígida y automatización flexible. En general, la flexibilidad del sistema productivo está fuertemente relacionada con el volumen de producción y, a su vez, con la gama de productos. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

“La automatización rígida opera con series altas o muy altas de piezas con altos valores de productividad y relativa inflexibilidad a cambios en el proceso de producción” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

La automatización flexible, también llamada programable, permite cambiar el producto fabricado mediante cambios en los comandos de control del sistema, pero con poca o ninguna interrupción del sistema de producción en sí. Por lo tanto, los equipos se adaptan a la producción de diferentes productos cambiando el orden de las operaciones cambiando el programa. Por lo general, se asocia con la distribución basada en procesos. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).

2.2.4 La pirámide de la automatización

La pirámide de automatización representa pictóricamente los diferentes niveles de automatización de la fábrica (ver figura 6). Esta es una gran manera de entender las complejidades de la fábrica. La figura muestra los niveles frente a los dispositivos más típicos y los tiempos de respuesta aproximados en cada nivel. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

- Nivel 1: Este es el nivel más bajo de la jerarquía de automatización. Contiene los discos, sensores y otros elementos de hardware que componen la máquina. En este nivel, los datos del proceso son recopilados por sensores dentro de él y controlados por actuadores. Aquellos sensores y actuadores que interactúan directamente con el proceso de producción suelen denominarse dispositivos de campo (field devices). (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)
- Nivel 2: Este nivel consiste en las máquinas individuales involucradas en el proceso de producción. Por tanto, desde el punto de vista del control, este nivel incluye controladores programables (PLC), sistemas de control numérico de máquinas, robots industriales, ordenadores industriales, etc. Todos estos dispositivos se conocen generalmente como controladores de máquinas. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)
- Nivel 3: Este nivel incluye sistemas de adquisición de datos y control de nivel superior (SCADA) e interfaces hombre-máquina (HMI). En esta capa, los datos del proceso se monitorean a través de una interfaz de usuario y se almacenan en una base de datos. SCADA se usa típicamente para controlar múltiples máquinas en procesos complejos, como aquellos que involucran múltiples sitios. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

“Una diferencia entre el nivel 2 y el 3 es que el SCADA se usa a menudo para refinar o restablecer valores en el nivel de control⁷” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

- Nivel 4: El cuarto nivel de la pirámide de automatización se denomina nivel de planificación u operativo. En este nivel se supervisa todo el proceso de fabricación de una instalación o fábrica, desde la materia prima hasta el producto final. Esto permite a la gerencia ver exactamente lo que está sucediendo y tomar decisiones informadas. Ajuste los pedidos de materia prima y los cronogramas de envío en función de los datos reales recibidos del sistema.

Este nivel generalmente utiliza un sistema de gestión computarizado conocido como MES (Manufacturing Execution System).⁸ (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

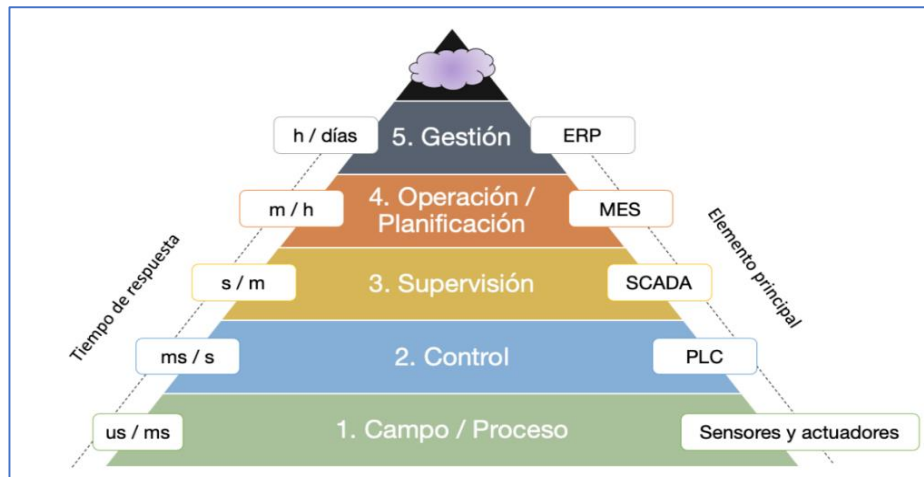
- Nivel 5: La parte superior de la pirámide es el llamado nivel de gestión. Esta capa utiliza el sistema de gestión integrado de la empresa conocido como ERP (Enterprise Resource Planning) o Business Resource Planning. Aquí, la alta dirección de la empresa puede revisar y controlar sus procesos. Un ERP suele ser un conjunto de aplicaciones informáticas que le permiten ver todo lo que sucede en su empresa.

Para lograr este nivel de integración, utilizamos todas las tecnologías del nivel anterior, además de algunos programas más (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).

- Se puede visualizar otro nivel por encima del nivel 5: la nube. La nube forma parte de la transformación digital de la fábrica y puede alimentar todos los niveles anteriores de datos directamente en conjuntos de datos u otras aplicaciones. Aquí es donde se alcanza el siguiente nivel de eficiencia y excelencia operativa llamado Industria 4.0. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020).

Figura 6

La pirámide de la automatización industrial



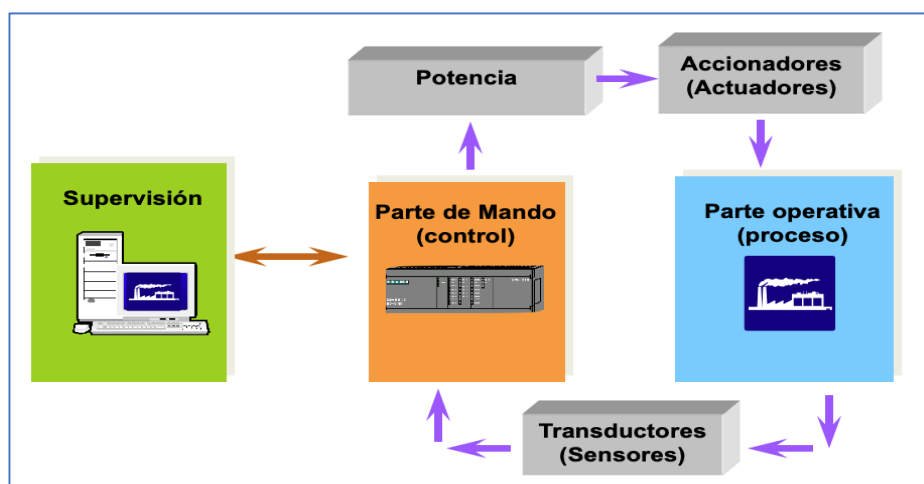
Nota. Tomada de Brunete, San Segundo y Herrero, (2020). Recuperado de: <https://bit.ly/3Toh5Uu>

2.2.5 Arquitectura de un sistema de producción

Los sistemas de producción industrial “son los distintos métodos que utiliza una compañía para transformar una materia prima hasta convertirla en una materia elaborada (producto final) que se va a comercializar” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020), ver figura 7.

Figura 7

Sistema de producción industrial



Nota Tomada de Brunete, San Segundo, & Herrero, (2020). Recuperado de: <https://bit.ly/40eBU7k>

En la figura 7 se observa la composición de un sistema de producción genérico:

- La parte operativa: Esta es la parte que afecta directamente a la máquina. Estos son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la acción deseada. Los elementos que componen la parte de trabajo son los accionamientos de la máquina, como motores, cilindros, compresores. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020). Compuesta por:

Actuadores: “son los elementos que permiten que el parte de mando actúe sobre la parte operativa. Por ejemplo: motores, cilindros neumáticos, relés eléctricos, electroválvulas” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

Sensores: “son los elementos que permiten al parte de mando conocer el estado de la parte operativa. Ejemplo: sensores de temperatura, posición, fuerza” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)
- La parte de mando: Esta parte es responsable de cumplir con los pedidos programados del operador, dejando a los trabajadores más tiempo para concentrarse en otros departamentos de producción. Debe poder comunicarse con todas las partes del sistema. Actualmente, esta parte suele consistir en un autómatas programable, o un sistema técnico que funciona sin que una persona lo controle directamente. En el pasado se utilizaba tecnología cableada (es decir, relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos). (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)
- El sistema supervisor: “es un sistema permite monitorizar y controlar la instalación de forma remota a través de interfases. Pueden ser paneles de pulsadores y luces, pero normalmente se trata de un sistema SCADA (Simultaneous Control and Data Acquisition) ejecutado en ordenadores centrales” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

2.2.5.1 Parte operativa

La parte operativa es la que actúa físicamente sobre la planta. Se compone de:

- Sensores, como, por ejemplo: Detectores de presencia, detectores de posición, cámaras, sensores de temperatura, caudalímetros.
- Potencia, como, por ejemplo: Variadores de velocidad, relés, distribuidores neumáticos, arrancadores de motor AC, limitadores de presión.

- Actuadores, como, por ejemplo: Cilindros y motores neumáticos, cilindros y motores hidráulicos, motores eléctricos, bobinas.

2.2.5.2 Parte de control

La parte de control o de mando se puede implementar de dos formas, mediante:

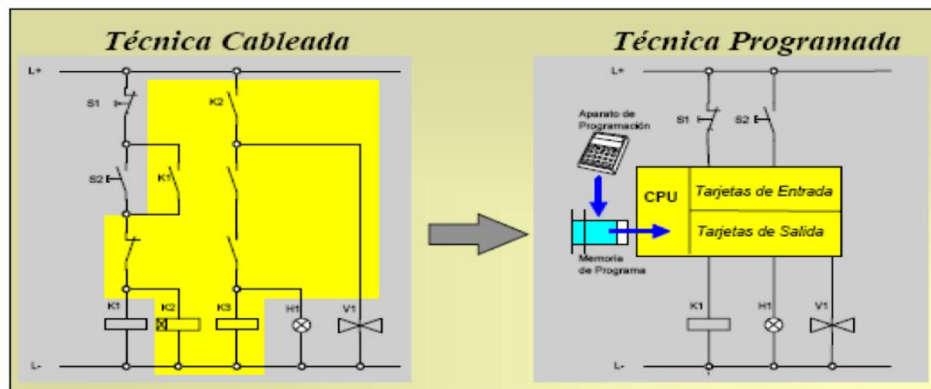
- “Tecnología cableada: el automatismo se realiza a base de uniones físicas (cableado)” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)
- “Tecnología programada: el automatismo se realiza mediante la confección de un programa” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

En la tecnología cableada, los sensores se conectan directamente a los actuadores mediante cables.

Para cambiar a tecnología programada, es necesario introducir un sistema de control programable y conectar sensores a sus entradas y actuadores a sus salidas (como en la figura 8). “Es un sistema de control que activa actuadores en base a la información proporcionada por los sensores”(Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

Figura 8

Transición de tecnología cableada a programable



Nota. Tomada de Brunete, San Segundo, & Herrero, (2020). Recuperado de: <https://bit.ly/3lo2dcl>

2.2.5.3 Sistema supervisor

SCADA, abreviatura de Control de Supervisión y Adquisición de Datos, es un software de computadora que permite el control remoto y el monitoreo de procesos industriales.

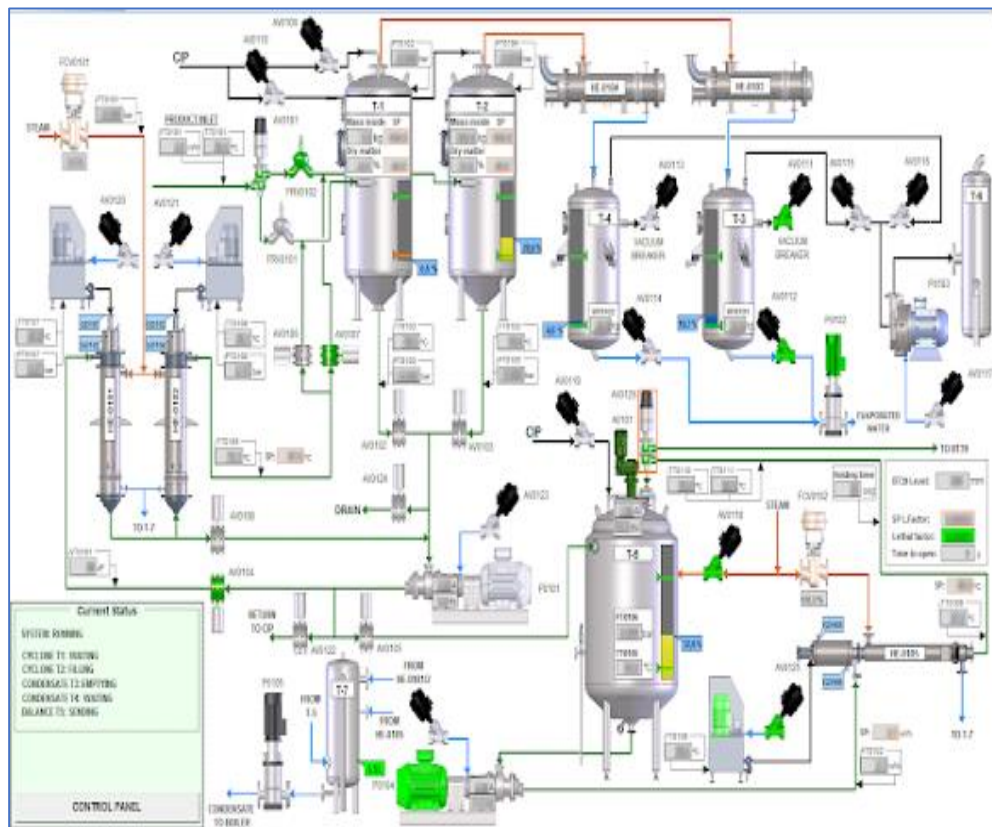
Permite la retroalimentación en tiempo real a través de dispositivos de campo (sensores y actuadores) y controla automáticamente el proceso.

Proporciona todos los datos generados en el proceso productivo (seguimiento, control de calidad, control de producción, registro de datos, etc.) y posibilita su gestión e intervención. (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

Mediante un sistema SCADA se pueden monitorizar y controlar varios PLCs al mismo tiempo. En la figura 9 se puede observar un ejemplo de un sistema SCADA” (Brunete, San Segundo, & Herrero, 2020)

Figura 9

Ejemplo de un sistema



Nota. tomada de Brunete, San Segundo, & Herrero, (2020). Recuperado de:

<https://bit.ly/3ZYwOMw>

2.3 Definición de términos

Los programadores de PLC deben tener formación en diversas disciplinas, lo que conduce a la existencia de una variedad de lenguajes de programación. Aquellos programadores familiarizados con el área industrial prefieren los lenguajes visuales,

mientras que aquellos con formación en electrónica e informática tienden a optar por los lenguajes escritos.

2.3.1 Pasteurización

La pasteurización, también conocida como pasterización, es un proceso térmico que se utiliza para reducir la presencia de agentes patógenos en líquidos, principalmente en alimentos como la leche.

Este proceso consiste en aplicar calor a los líquidos con el fin de eliminar o reducir la presencia de bacterias, protozoos, mohos, levaduras y otros microorganismos que puedan ser perjudiciales para la salud.

2.3.2 Actuador

Un actuador es un dispositivo que tiene la capacidad de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso, con el objetivo de producir un efecto en un sistema automatizado. El actuador recibe la orden de un controlador o regulador y, en función de esta, genera la señal para activar un elemento final de control, como una válvula. Estos dispositivos tienen un impacto directo en la señal de salida del sistema automatizado, modificando su magnitud de acuerdo con las instrucciones que reciben de la unidad de control.

2.3.3 Transductor

“Un transductor es el dispositivo que transforma una magnitud física (mecánica, térmica, magnética, eléctrica, óptica, etc.) en otra magnitud, normalmente eléctrica” (Eudim, s.f.)

Un sensor es un dispositivo que convierte una variable física, como la temperatura, la presión o la velocidad, en una señal eléctrica o electrónica que puede ser procesada por un sistema de control. Algunos de los sensores más comunes son los calibradores de tensión, que miden la fuerza y la presión, los termopares, que miden la temperatura, y los velocímetros, que miden la velocidad (Eudim, s.f.).

“Cualquier sensor o transductor necesita estar calibrado para ser útil como dispositivos de medida. La calibración es el procedimiento mediante el cual se establece la relación entre la variable medida y la señal de salida convertida” (Eudim, s.f.)

Los transductores y los sensores pueden clasificarse en dos tipos básicos, dependiendo de la forma de la señal convertida. Los dos tipos según Eudim (s.f.) son:

- Transductores analógicos.

- Transductores digitales

“Los transductores analógicos proporcionan una señal analógica continua, por ejemplo, voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede ser tomada como el valor de la variable física que se mide” (Eudim, s.f.)

Los transductores digitales generan una señal de salida en forma digital, ya sea en forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o en forma de una serie de pulsos contables. Estas señales digitales representan el valor medido de la variable. La principal ventaja de los transductores digitales es su compatibilidad con las computadoras digitales en la automatización y control de procesos, lo que los hace más adecuados que los sensores analógicos en estos sistemas. (Eudim, s.f.)

HMI
La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es una interfaz que actúa como un panel de control para el operador de la máquina. Es una herramienta vital para los operadores y supervisores de línea en la coordinación y control de procesos y maquinarias industriales y de fabricación. La HMI es capaz de traducir variables de proceso complejas en información útil y procesable para el operador.

Los sistemas HMI tienen la capacidad de mostrar información actualizada en tiempo real sobre el proceso. Utilizando gráficos y visualizaciones, es posible comprender el estado del motor, las válvulas y los niveles de los tanques, entre otros parámetros del proceso. De esta manera, se proporciona una visión operativa del proceso que permite el control y la optimización mediante el ajuste de la producción y los objetivos del proceso.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo, nivel y diseño de la Investigación

3.1.1 Tipo de Investigación

La investigación desarrollada es del tipo aplicada. Para su desarrollo se abordó la metodología del diseño en ingeniería, en el cual se identifican los requerimientos del proceso, se realiza el diseño conceptual a partir de la identificación de la función o funciones de cada uno de los módulos propuestos, y se plantea el diseño de detalle considerando las especificaciones técnicas del producto final.

3.1.2 Nivel de la Investigación

El nivel de investigación de la presente tesis es cuantitativa descriptiva.

3.1.3 Diseño de la Investigación

Se trata de una investigación experimental, ya que se realizaron modificaciones de los parámetros de un control PID empleado en el proceso de la línea de pasteurizado de la leche.

Considerando que la tesis se realizó en un único momento en el tiempo, lo que indica que se está ante un diseño transversal.

3.2 Acciones y actividades

3.2.1 Estudio de campo

- Se realizaron visitas técnicas en la planta lechera de la empresa LAIVE ubicado en la ciudad de Arequipa.
- Se observó el desarrollo del proceso de la línea de pasteurizado de la leche.
- Se realizaron pruebas de operación en la línea de pasteurizado.

3.2.2 Estudio de gabinete

- Se implementó un módulo piloto (maqueta) que simula el sistema de control PID de una línea de pasteurizado de leche.

- Se utilizó la plataforma TIA PORTAL para optimizar los parámetros del sistema de control PID.

3.3 Materiales y/o instrumentos

3.3.1 Materiales empleados en la recolección de datos.

A continuación, se presentan los materiales y recursos utilizados para la obtención de los parámetros del sistema de control PID:

- SIMATIC S7-1200-1214C-DC/DC/RELAY.
- Fuente de alimentación estabilizada. Entrada:24 Vdc- 6EP1332-1SH71.
- SIMATIC S7-1200, Entrada Analógica, SM 1231, 4 x Módulo EA RTD.
- Sensor de temperatura PT100.
- Fuente de energía de 0-10 V.
- Fuente de alimentación de 24 V.
- Relé de estado sólido.
- Resistencia eléctrica 2000 w.
- Signal board 1232 AQ X 1 salida analógica.
- Convertidor de voltaje de 0-5 V a PWM.
- Software TIA portal V16.
- Pantalla HMI.

3.3.2 Instrumentos para la recolección de los datos

Para la recolección de los datos se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Se utilizó la plataforma TIA PORTAL para configurar el sistema de control PID.
- Se utilizó el lenguaje KOP empleado en la plataforma TIA PORTAL V16, para configurar el accionamiento del sistema de control.
- Se empleó el software de visualización gráfica Wincc para visualizar los parámetros de control PID en un dispositivo HMI y proceder a la optimización del comportamiento del sistema de control.

- Se utilizó el software Excel para visualizar los reportes del comportamiento del sistema de control.

3.4 Población y/o Muestra del Estudio

3.4.1 Muestra de Estudio

La muestra de estudio consistió en la determinación de los principales parámetros de un sistema de control PID, para la optimizar el proceso de la línea de pasteurizado de la leche.

3.5 Operacionalización de Variables

Para la operacionalización de variables de la tesis se consideró una variable de estudio, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Tipo de variable	Indicadores
Sistema de control para automatizar la línea de pasteurización de la Planta Lechera Laive - Arequipa.		Variable de estudio	<p>Nivel de la leche en los tanques 1 y 2 de almacenamiento.</p> <p>Temperatura de la leche en los tanques 1 y 2 de almacenamiento.</p> <p>Temperatura de la leche en la línea de pasteurizado.</p> <p>Caudal de salida del producto.</p>

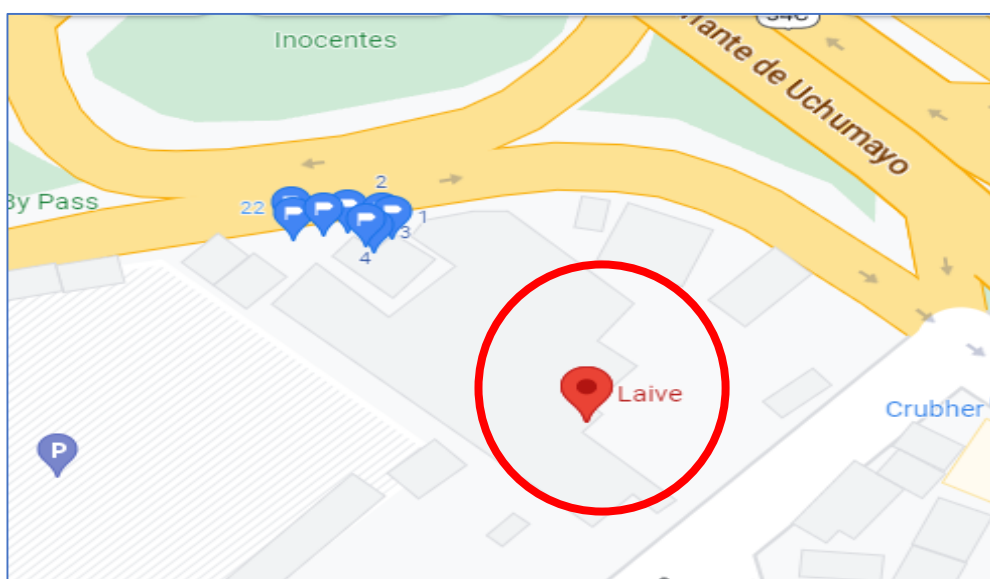
3.6 Procesamiento de la pasteurización de la leche

3.6.1 Requerimientos del proceso

La planta lechera LAIVE está ubicada en la calle Eduardo López de Romaña, en la zona denominada Parque Industrial de la ciudad de Arequipa, Región Arequipa, Perú, tal como se observa en la figura 10.

Figura 10

Ubicación actual de la planta lechera – LAIVE



Nota. Generada desde Google Maps (2023).

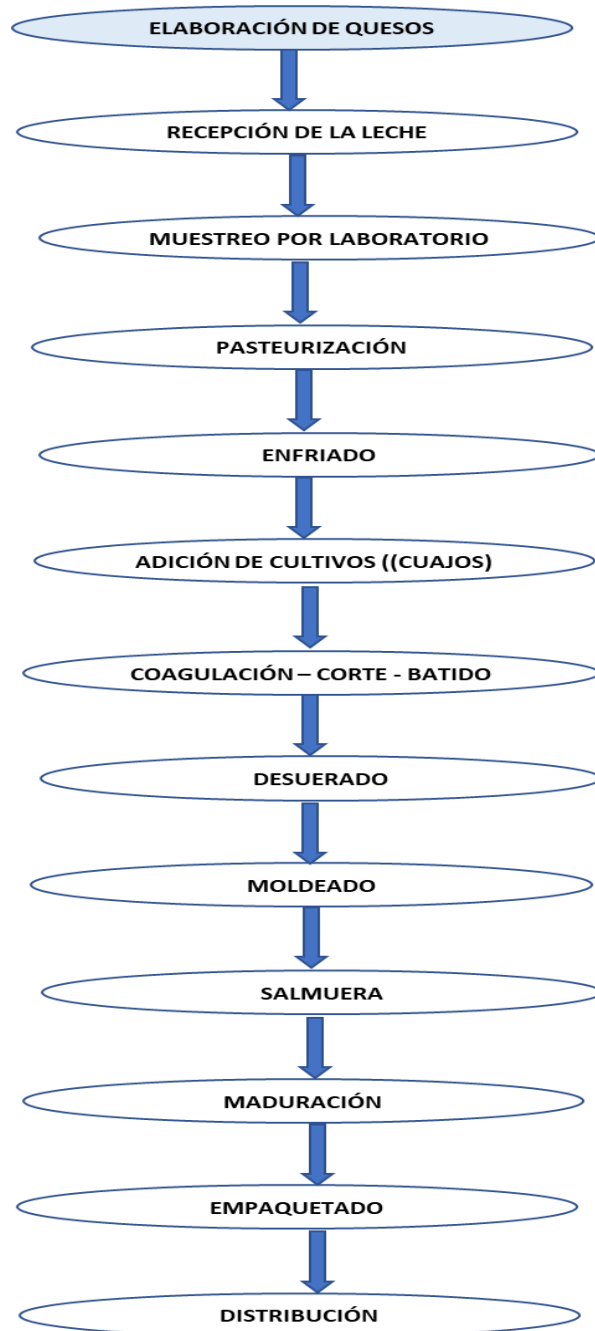
La planta lechera de la empresa LAIVE en Arequipa, elabora los siguientes productos:

- Mantequilla
- Quesos Edam, Gouda, Parmesano, Mozzarella.
- Queso fundido.

Para la elaboración de quesos Edam, Gouda, Parmesano es necesario realizar el proceso de -pasteurización de la leche entre una temperatura de 71,5 °C y 72,5 °C. Luego de la pasteurización de la leche, esta se envía mediante un conjunto de válvulas y líneas hasta las tinas queseras. En donde la leche es enfriada para así poder elaborar los distintos tipos de quesos. En la figura 11 se muestra el diagrama de proceso seguido para la elaboración de quesos.

Figura 11

Diagrama del proceso para la elaboración del queso

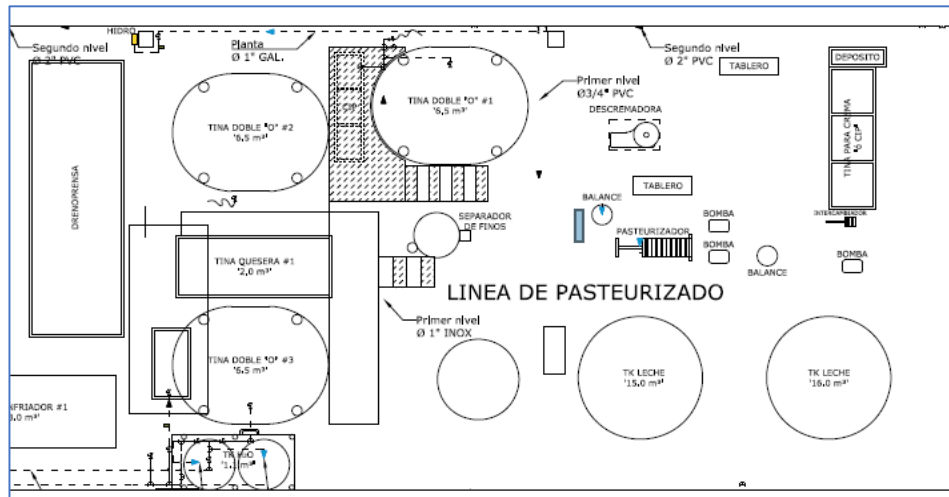


3.6.1.1. Descripción del proceso de pasteurización planta la lechera Laive

En las figuras 12 y 13 se muestran los diagramas de ubicación y distribución de equipos de la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE.

Figura 12

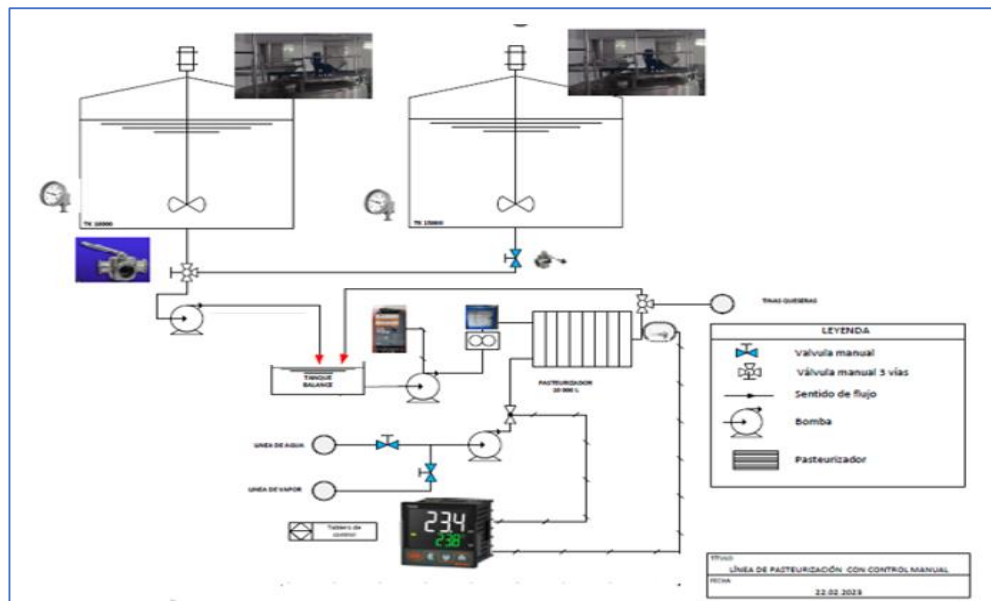
Punto de ubicación (pasteurización).



Nota. El diagrama muestra la ubicación de equipos de la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE de la ciudad de Arequipa.

Figura 13

Diagrama de distribución de equipos (pasteurización)



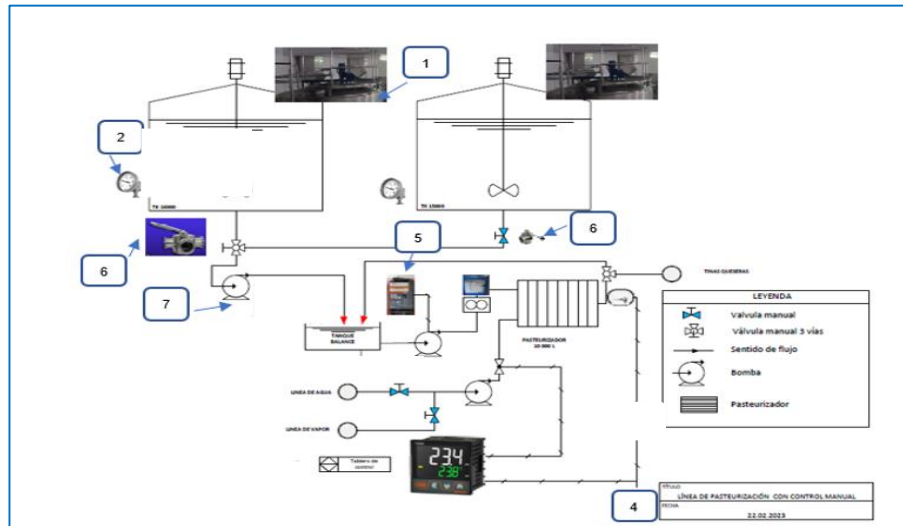
Nota. El diagrama muestra la distribución de los equipos de la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE de la ciudad de Arequipa.

3.6.1.2. Descripción de las etapas de la línea de pasteurización de leche

La figura 14 muestra las etapas de la línea de pasteurización de la leche de nuestro proyecto.

Figura 14

Partes de la línea de pasteurización.



Nota. Se muestra la secuencia que sigue la línea de pasteurización.

El inicio del proceso de pasteurización se produce con la verificación manual de la temperatura y el nivel de leche en los tanques de almacenamiento, para luego proceder a abrir las válvulas necesarias y así poder encender manualmente las bombas de descarga de leche y agua. Luego se procede a iniciar el proceso de calentamiento utilizando el controlador de temperatura que se encuentra en el tablero de control del pasteurizador, ver figura 15.

Figura 15

Tablero de control del pasteurizador



Nota. Obtenida de la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE de la ciudad de Arequipa.

La tabla 3 muestra la secuencia seguida en el proceso de pasteurización de la leche.

Tabla 3

Etapas de la pasteurización

Etapas de la línea de pasteurización	
1	Medición del nivel de leche y control de agitadores
2	Medición de temperatura de leche
3	Controlador de temperatura de pasteurizado
4	Registrador de temperatura de pasteurizado
5	Control de caudal de producto
6	Control de válvulas manuales
7	Control de bombas manuales

Nota. Secuencia seguida en la línea de pasteurización.

3.6.1.3. Medición del nivel de leche y control de agitadores

Para el inicio del proceso de pasteurizado es necesario ver el nivel de leche que existe en cada tanque. es por esto que cada vez que inicia la pasteurización de la leche se verifica cuanta leche existe en cada tanque.

Esta medición fue realizada por el operador de turno subiendo por las escaleras tipo gato que tiene cada tanque y así poder abrir la tapa que tiene en la parte superior para mirar físicamente cuanta leche hay dentro del tanque sin tener un valor exacto, ver figura 16.

Figura 16

Partes del tanque de almacenamiento

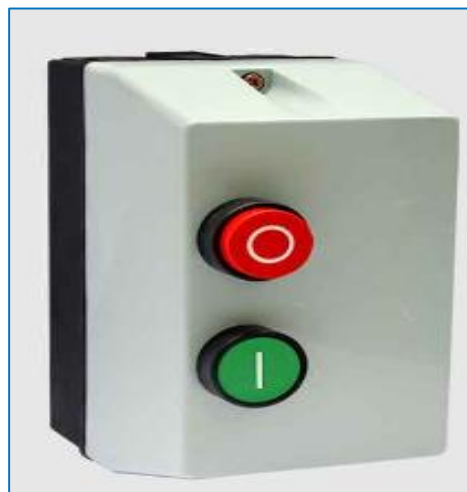


Nota. Obtenida de la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE de la ciudad de Arequipa.

Para poder encender los agitadores de los tanques se tiene una botonera que realiza un arranque directo de los motores, esta botonera se encuentra a tres metros del tablero principal, ver figura 17.

Figura 17

Botonera de arranque de motores



Nota. Tomada de Eléctricos generales Electri. (2018). Disponible en: <https://bit.ly/42hhyw5>

3.6.1.4. Medición de temperatura de leche

Es necesario poder verificar la temperatura en los tanques de almacenamiento, pues la leche almacenada debe mantenerse entre 2 a 5 °C. Esta inspección se realiza de forma manual, pues el operador tiene que dirigirse hacia cada tanque para poder visualizar.

El instrumento que se utiliza en los tanques para poder ver la temperatura es un termómetro bimetálico de 2" conexión inferior. Este consta de una hélice de metal con un coeficiente de expansión.

Para poder indicar el valor de la temperatura, el inconveniente de estos termómetros es que no son precisos, pues mejores que estos son los sensores de temperatura.

La figura 18 muestra la imagen del termómetro bimetálico que está instalado en los tanques de leche.

Figura 18

Termómetro bimetálico



Nota. Obtenida de la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE de la ciudad de Arequipa

3.6.1.5. Controlador de temperatura de pasteurizado

La línea de pasteurizado de la planta lechera Laive actualmente trabaja con un controlador Autonics de la serie TX-4S con este controlador se realiza el proceso de pasteurizado de la leche. La figura 19 muestra el diagrama de conexión de este controlador.

El controlador Autonics tiene las siguientes características

- salida de 4-20 mA
- salida de alarma de 220 Vac
- entrada de sensor PT-100

Figura 19

Diagrama de conexión del controlador AUTONICS



Nota. Elaborado de la línea de pasteurizado de leche.

Este controlador realiza un control PID de temperatura supervisado por el operador de turno que controla el set point del proceso entre 71,5 – 72,5 °C, ingresando manualmente este valor.

Además, este controlador cuenta con una salida de alarma de 220 Vac. Esta alarma se acciona cuando la temperatura es menor que 71,5 °C. a fin de evitar problemas en la leche pasteurizada que se envía a las tinas queseras. (donde se elaboran los quesos).

Este controlador presenta algunas dificultades que fueron registradas en el sistema SAP que utiliza la empresa desde el año 2020. La tabla 4 muestra el registro de fallas extraído del sistema SAP por este controlador.

Tabla 4

Registro de fallas de controlador del pasteurizador

Línea	Código SAP	Tipo de mantenimiento	Duración (minutos)	Fecha	Motivo
Línea de pasteurizado	10000340	correctivo	120	05.01.2021	Controlador dañado por humedad
Línea de pasteurizado	10000340	correctivo	90	10.05.2021	Controlador oscilando, error en pid
Línea de pasteurizado	10000340	correctivo	40	25.08.2021	Calibración de pid
Línea de pasteurizado	10000340	correctivo	115	22.12.2021	Controlador dañado por botoneras
Línea de pasteurizado	10000340	correctivo	40	10.01.2022	Controlador con error de pid
Línea de pasteurizado	10000340	correctivo	120	15.02.2022	Calibración de pid
Línea de pasteurizado	10000340	correctivo	180	24.07.2022	Controlador dañado por botoneras
Línea de pasteurizado	10000340	correctivo	50	20.09.2022	Calibración de pid
Línea de pasteurizado	10000340	correctivo	95	11.11.2022	Controlador dañado por corto circuito em alarma

Nota. Obtenido del sistema SAP referidos al mantenimiento correctivo del pasteurizador 1.

Las ventajas del controlador Autonics son las siguientes:

- Son controladores de bajo costo, diseñados específicamente para controlar la temperatura.
- Sus pequeñas dimensiones permiten mejor espaciamiento en su implementación
- Su conexión directa entre el sensor PT100 y el controlador, evitan la formación de convertidores de resistencia a voltaje o corriente.
- Proporciona diferentes tipos de control PID, PI, ON-OFF

El controlador Autonics presenta las siguientes desventajas en la línea de pasteurizado:

- Tiene muy pocas salidas de alarma
- Al desgastarse las botoneras de control ocasionan problemas de contacto
- En ocasiones presentan problemas por falta de calibración
- Solo se utilizan para control de temperatura.
- No cuenta con módulos de expansión de señales de entrada y salida.

3.6.1.6. Registrador de temperatura de pasteurizador

La sala de proceso cuenta con un registrador de temperatura de la marca JUMO LOGOSCREEN. Siendo complicado por parte del operador para acceder a su entorno de exportación de datos. Además para que el operador pueda extraer la información fue necesario emplear un USB. La figura 20 muestra la conexión del registrador de temperatura y del tablero donde se encuentra el registrador.

Figura 20

Conexión del registrador de temperatura



Nota. Elaborado de la línea de pasteurizado de leche.

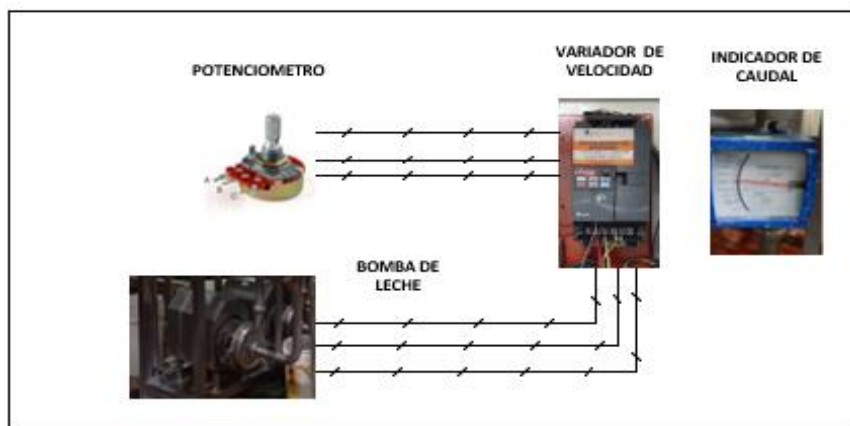
3.6.1.7. Control del caudal del producto de salida.

El operador de turno regula el caudal de salida del producto apoyándose de un potenciómetro que ajusta según las necesidades del proceso. Para la pasteurización, el producto pasa a 8000 L/h y para lavado C.I.P el producto pasa a 10000 L/h.

Para poder llegar a estos valores el operador tiene que calcular guiándose con el indicador manual de caudal, que está a la salida de la bomba. Ver figura 21.

Figura 21

Conexión del potenciómetro con el variador de velocidad



Nota. Elaborado de la línea de pasteurizado de leche.

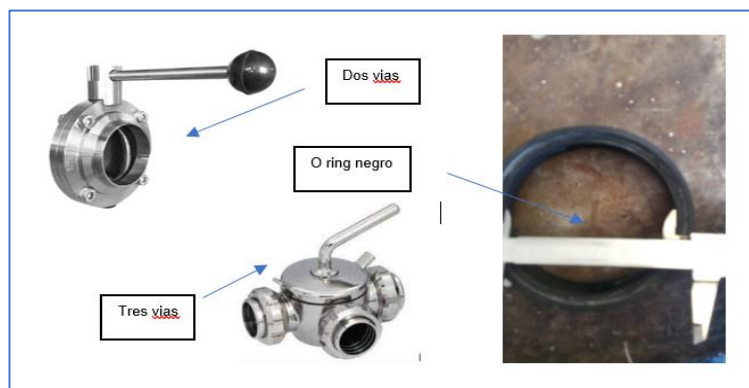
3.6.1.8. Control manual de válvulas

El operador es el encargado de maniobrar las válvulas de dos y tres vías manualmente. Por ser económicas y de instalación simple, estas válvulas presentan muchas ventajas en el proceso del pasteurizado.

La estar instaladas en planta, éstas válvulas también presentan desventajas. Presentan un ring de color negro, siendo esto un riesgo para la línea de leche; no se pueden ser controlados a distancia y en ocasiones al estar en sitios pocos accesibles, ocasiona pérdidas de tiempo. Ver figura 22.

Figura 22

Válvulas manuales empleadas en la línea de pasteurizado



3.6.1.9. Control manual de bombas

El operador de turno enciende las bombas apoyándose de selectores de dos posiciones, para el encendido de las bombas de leche, agua y descarga.

Las ventajas que presenta este controlador manual, es económico y de simple instalación, ver figura 23.

Las desventajas que presenta, al no tener un control automático de encendido y apagado existe la probabilidad que las bombas entren en mantenimiento correctivo por quedarse encendidas sin producto, retrasando la producción del día. La figura 24 muestra su ubicación en la línea de pasteurizado.

Figura 23

Bomba de INOX



Nota. Tomada de Alfa laval. (2015). Disponible en: <https://bit.ly/400hUpa>

Figura 24

Ubicación de las bombas en la línea de pasteurizado.



Nota. Obtenida de la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE de la ciudad de Arequipa. **Diseño conceptual**

Esta tesis tuvo como objetivo diseñar y simular un sistema de control para automatizar la línea de pasteurizado, por lo tanto, fue necesario automatizar las siguientes etapas para poder controlar la línea desde una pantalla HMI, tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5*Etapas del proceso de pasteurización*

Etapa	Requerimiento
1. Medición del nivel de leche y control de agitadores de tanque 1-2	Visualizar el nivel de leche de cada tanque de almacenamiento desde una pantalla HMI. Control de agitadores de cada tanque de desde la pantalla HMI
2. Medición de temperatura de leche tanque 1-2	Visualizar La temperatura de leche de cada tanque de almacenamiento desde una pantalla HMI.
3. Pasteurización de Leche	Controlar la temperatura de pasteurizado desde una pantalla HMI. Control de válvulas y bombas de forma automática, desde una pantalla HMI Registrar la temperatura de pasteurizado desde una pantalla HMI.
4. Caudal de salida de producto.	Controlar el caudal de forma automática.

3.6.2.1 Medición del nivel de leche

Se requiere hacer las siguientes acciones:

- Visualizar el nivel de leche: Para poder visualizar el nivel de leche de los tanques se trabajó con los sensores de nivel.

Los sensores de nivel son dispositivos que se encargan de medir los niveles de ciertos líquidos. Actualmente en otras áreas de la planta que tienen tanques de leche se viene trabajando con sensores de nivel tipo presión hidrostática. Estos trabajan muy bien hasta la fecha, pues se colocan al fondo del tanque y miden la presión que genera la leche. A mayor leche mayor presión y así a lo inverso.

El sensor presión hidrostática de nivel que se utilizó en los tanques de almacenamiento de leche de 15000 L/h y 16000 L/h es el transmisor de presión MBS4510 rango de trabajo 0 -1 bar. Ver figuras 25, 26 y 27.

Este sensor de nivel es de membrana externa pues mantener la limpieza de la conexión es de suma importancia al trabajar con producto lácteos.

Presenta las siguientes ventajas:

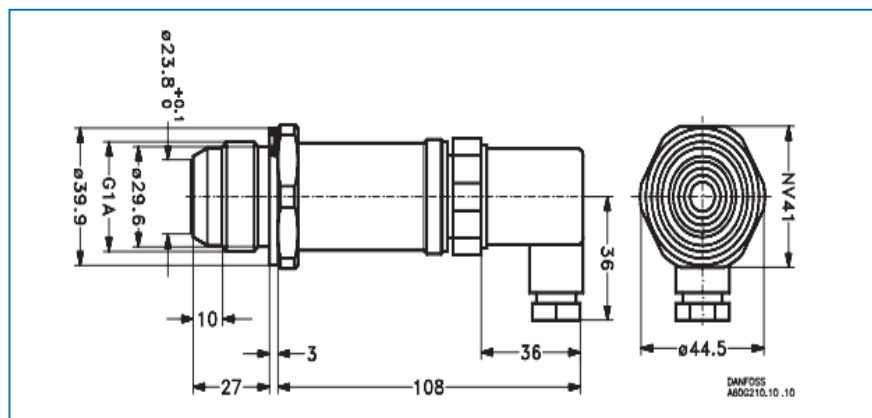
- Medición precisa, porque es insensible a la espuma, pues la leche causa bastante espuma.
- Fácil de instalar, auto limpiante y de bajo mantenimiento
- Resistente al oxido al ser fabricado en material INOX c-304
- Amplio rango de medición

Presenta las siguientes especificaciones técnicas:

- Alimentación: 24 Vdc
- Señal de salida: 4 - 20 mA
- Temperatura de trabajo: rango de 10 - 85 °C
- Rangos de medición: 0 -1 bar
- Diagrama rozante

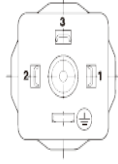

Figura 25

Dimensiones sensor de nivel tipo presión hidrostática



Nota. Tomada de INPROCESS (s.f.). Disponible en: <https://bit.ly/3JsvOcb>

Figura 26
Conexión eléctrica

Electrical connection	4 – 20 mA output (2 wire)
 <p>EN 175301-803-A, Pg 9</p>	<p>Pin 1: + supply Pin 2: - supply Pin 3: Not used</p> <p> Earth: Connected to MBS enclosure</p>

Nota. Tomada de INPROCESS (s.f.). Disponible en:
<https://bit.ly/3JM9RXo>

Figura 27
Trasmisor de presión Danfos MBS 4510



Nota. Tomada de INPROCESS (s.f.).
Disponible en: <https://bit.ly/3yU5rHv>

- Control de agitadores de tanque 1-2: Para realizar el control de los agitadores desde el HMI fue necesario trasladar el control de estos agitadores al tablero principal del pasteurizador, como se mencionó anteriormente, estos ya cuentan con un arranque directo pero su

Ventajas:

- Fácil acceso al control de los agitadores
- Fácil instalación
- Evitar accidentes debido a que esta botonera se encuentra cerca de tubería de vapor.

3.6.2.2 Medición de temperatura de leche tanque 1-2

Para poder medir la temperatura de los tanques de almacenamiento de leche se tomó como referencia los sensores que fueron utilizados en planta, pues estos llevan trabajando un buen tiempo en las mismas condiciones, sin tener algún problema.

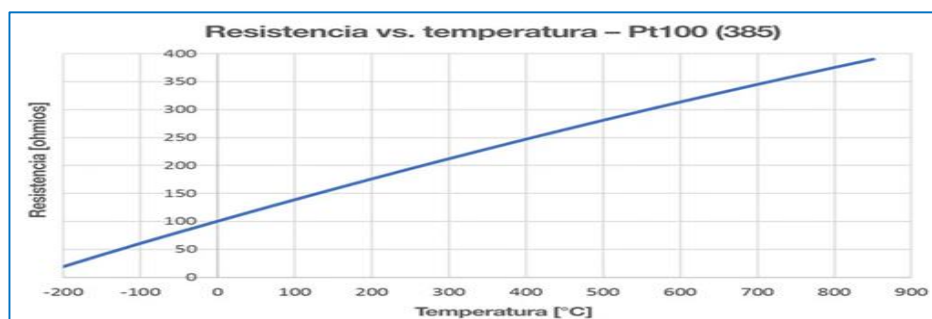
- Sensor de temperatura: Son componentes que nos permiten medir la temperatura mediante una señal o mediante un cambio de valores de resistencia. existen tres tipos termopares, RTD y termistores.

El tipo de sensor que se utilizó fue el RTD PT100 estos sensores RTD se caracterizan por tener hilos de platino, níquel o cobre. Al tener un aumento de temperatura tienen un aumento de resistencia pudiéndose medir los cambios de temperatura en base a la resistencia generada. En la planta lechera la temperatura de trabajo en los tanques de almacenamiento estuvo en el rango de 2 a 5 °C.

Los sensores PT100 se caracterizan por tener un alambre de platino que a 0 °C muestra una resistencia de 100 ohm así mismo si aumenta la temperatura aumenta la resistencia. Los hilos del sensor vienen encapsulados dentro un tubo de INOX llamado (vaina), por el otro extremo sale un cabezal en su mayoría de aluminio, por donde se encuentra las conexiones eléctricas. La figura 28 muestra su curva característica.

Figura 28

Curva característica de un sensor PT100



Nota. Tomada de BEAMEX (2020). Disponible en: <https://acortar.link/mMFmjR>

Las ventajas que presentan los sensores PT100 son:

- Trabajan mejor a temperatura bajas en el rango de -100°C° a 200°C°.

- Son sensores bien precisos.
- En el caso que hubiera un error, estos sensores se abren ocasionando que el controlador entre en falla. Ver figura 29.

Figura 29

Sensor PT100



Nota. Tomada de AUTOMAQ, (2022).

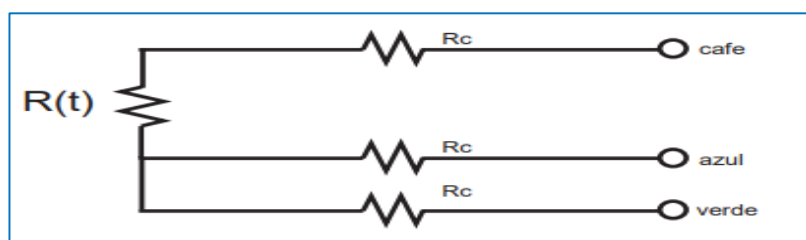
Disponible en: <https://bit.ly/3JQx4rB>

Tipos de conexiones a emplear: Existen tres tipos de conexión (2 hilos, 3 hilos, 4 hilos). En este caso la conexión de los sensores que utilizamos para la medición de temperatura de los tanques de almacenamiento fue de 3 hilos. Ver figura 30.

- Conexión 2 hilos: es el modo más sencillo con solo dos cables. Además del menos recomendado por que genera un error inevitable.
- Conexión 3 hilos: es el modo más recomendado, pues resuelve bien el problema del error generado por los cables. Siendo como requisito indispensable que los tres cables tengan la misma resistencia.
- Conexión 4 hilos: es el modo más preciso, además de que su instrumento lector es muy costoso.

Figura 30

Conexión de 3 hilos



Nota. Tomada de GRM (s.f.). Disponible en: <https://bit.ly/3LD8kV3>

La tabla 6 muestra los valores de resistencia del sensor PT100 a diferentes valores de temperatura (-190°C a 299 °C).

Tabla 6

Valores resistivos del sensor PT100 (-190°C a 299 °C)

Valores de resistencia del PT-100 con variaciones de temperatura de 1°C										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-190	22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96
-180	27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20
-170	31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44
-160	35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66
-150	39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87
-140	43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06
-130	47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20
-120	52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32
-110	56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43
-100	60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52
-90	64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60
-80	68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64
-70	72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66
-60	76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67
-50	80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66
-40	84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65
-30	88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62
-20	92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58
-10	96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53
0	100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95
150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68
160	161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39
170	164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10
180	168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200	175.84	176.21	176.58	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.98	181.34	181.71	182.07	182.44	182.81
220	183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.45
230	186.82	187.18	187.55	187.91	188.27	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09
240	190.46	190.82	191.18	191.54	191.91	192.27	192.63	192.99	193.36	193.72
250	194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94
270	201.29	201.65	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53
280	204.88	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11
290	208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67

La tabla 6 muestra los valores de resistencia del sensor PT100 a diferentes valores de temperatura (300 a 849 °C).

Tabla 6

Valores resistivos del sensor PT100 (300°C a 849°C)

Valores de resistencia del PT-100 con variaciones de temperatura de 1°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
300	212.03	212.39	212.74	213.10	213.45	213.81	214.16	214.52	214.88	215.23
310	215.59	215.94	216.29	216.65	217.00	217.36	217.71	218.07	218.42	218.77
320	219.13	219.48	219.84	220.19	220.54	220.90	221.25	221.60	221.96	222.31
330	222.66	223.01	223.37	223.72	224.07	224.42	224.77	225.13	225.48	225.83
340	226.18	226.53	226.88	227.24	227.59	227.94	228.29	228.64	228.99	229.34
350	229.69	230.04	230.39	230.74	231.09	231.44	231.79	232.14	232.49	232.84
360	233.19	233.54	233.89	234.23	234.58	234.93	235.28	235.63	235.98	236.32
370	236.67	237.02	237.37	237.72	238.06	238.41	238.76	239.11	239.45	239.80
380	240.15	240.49	240.84	241.19	241.53	241.88	242.23	242.57	242.92	243.26
390	243.61	243.95	244.30	244.65	244.99	245.34	245.68	246.03	246.37	246.72
400	247.06	247.40	247.75	248.09	248.44	248.78	249.12	249.47	249.81	250.16
410	250.50	250.84	251.19	251.53	251.87	252.21	252.56	252.90	253.24	253.58
420	253.93	254.27	254.61	254.95	255.29	255.64	255.98	256.32	256.66	257.00
430	257.34	257.68	258.02	258.37	258.71	259.05	259.39	259.73	260.07	260.41
440	260.75	261.09	261.43	261.77	262.11	262.45	262.78	263.12	263.46	263.80
450	264.14	264.48	264.82	265.16	265.49	265.83	266.17	266.51	266.85	267.18
460	267.52	267.86	268.20	268.53	268.87	269.21	269.54	269.88	270.22	270.55
470	270.89	271.23	271.56	271.90	272.24	272.57	272.91	273.24	273.58	273.91
480	274.25	274.58	274.92	275.25	275.59	275.92	276.26	276.59	276.93	277.26
490	277.60	277.93	278.26	278.60	278.93	279.26	279.60	279.93	280.26	280.60
500	280.93	281.26	281.60	281.93	282.26	282.59	282.93	283.26	283.59	283.92
510	284.25	284.58	284.92	285.25	285.58	285.91	286.24	286.57	286.90	287.23
520	287.56	287.90	288.23	288.56	288.89	289.22	289.55	289.88	290.21	290.54
530	290.86	291.19	291.52	291.85	292.18	292.51	292.84	293.17	293.50	293.82
540	294.15	294.48	294.81	295.14	295.47	295.79	296.12	296.45	296.78	297.10
550	297.43	297.76	298.08	298.41	298.74	299.07	299.39	299.72	300.04	300.37
560	300.70	301.02	301.35	301.68	302.00	302.33	302.65	302.98	303.30	303.63
570	303.95	304.28	304.60	304.93	305.25	305.58	305.90	306.22	306.55	306.87
580	307.20	307.52	307.84	308.17	308.49	308.81	309.14	309.46	309.78	310.11
590	310.43	310.75	311.07	311.40	311.72	312.04	312.36	312.68	313.01	313.33
600	313.65	313.97	314.29	314.61	314.93	315.26	315.58	315.90	316.22	316.54
610	316.86	317.18	317.50	317.82	318.14	318.46	318.78	319.10	319.41	319.73
620	320.05	320.37	320.69	321.01	321.33	321.65	321.96	322.28	322.60	322.92
630	323.24	323.55	323.87	324.19	324.51	324.82	325.14	325.46	325.78	326.09
640	326.41	326.73	327.04	327.36	327.67	327.99	328.31	328.62	328.94	329.25
650	329.57	329.89	330.20	330.52	330.83	331.15	331.46	331.78	332.09	332.41
660	332.72	333.04	333.35	333.66	333.98	334.29	334.61	334.92	335.23	335.55
670	335.86	336.17	336.49	336.80	337.11	337.43	337.74	338.05	338.36	338.68
680	338.99	339.30	339.61	339.92	340.24	340.55	340.86	341.17	341.48	341.79
690	342.11	342.42	342.73	343.04	343.35	343.66	343.97	344.28	344.59	344.90
700	345.21	345.52	345.83	346.14	346.45	346.76	347.07	347.38	347.68	347.99
710	348.30	348.61	348.92	349.23	349.53	349.84	350.15	350.46	350.77	351.07
720	351.38	351.69	352.00	352.30	352.61	352.92	353.22	353.53	353.84	354.14
730	354.45	354.75	355.06	355.37	355.67	355.98	356.28	356.59	356.89	357.20
740	357.51	357.81	358.12	358.42	358.72	359.03	359.33	359.64	359.94	360.25
750	360.55	360.85	361.16	361.46	361.77	362.07	362.37	362.68	362.98	363.28
760	363.59	363.89	364.19	364.49	364.80	365.10	365.40	365.70	366.01	366.31
770	366.61	366.91	367.21	367.51	367.81	368.12	368.42	368.72	369.02	369.32
780	369.62	369.92	370.22	370.52	370.82	371.12	371.42	371.72	372.02	372.32
790	372.62	372.92	373.22	373.52	373.82	374.12	374.42	374.71	375.01	375.31
800	375.61	375.91	376.21	376.50	376.80	377.10	377.40	377.70	377.99	378.29
810	378.59	378.88	379.18	379.48	379.77	380.07	380.37	380.66	380.96	381.26
820	381.55	381.85	382.14	382.44	382.74	383.03	383.33	383.62	383.92	384.21
830	384.51	384.80	385.10	385.39	385.69	385.98	386.27	386.57	386.86	387.16
840	387.45	387.74	388.04	388.33	388.62	388.92	389.21	389.50	389.79	390.09

3.6.2.3 Pasteurización de la leche

Para controlar y registrar la temperatura de la línea de pasteurizado de la planta lechera de forma automática, fue necesario utilizar un controlador lógico programable, el cual pueda contar con módulos de expansión para la diferentes entradas y salidas que se necesitaron

La temperatura de pasteurizado que se trabajó está el rango de 71,5 - 72,5 °C para lo cual es necesario realizar un control PID.

Actualmente se está trabajando con un controlador Autonics TX-4S, pero para poder automatizar toda la línea fue necesario cambiar este controlador por un PLC Siemens con sus módulos de expansión y una pantalla HMI siemens. Actualmente en la planta se cuenta con PLC siemens en otras áreas, por lo que se recomienda trabajar con la misma marca para posteriores expansiones.

Para controlar el pasteurizado de la leche desde una pantalla HMI se escogió lo siguiente:

- PLC Siemens 1200 1214C DC/DC/relay: Con este controlador lógico programable se realizó el control PID de la temperatura de pasteurizado, control de las válvulas, control de las bombas, registro de temperaturas, control de caudal y por último visualización de temperatura y nivel de los tanques de leche 1-2.
- Sensor de temperatura de pasteurizado: Es el mismo sensor RTD-PT100 que se utilizó para la medición de temperatura de los tanques de almacenamiento de leche 1-2.
- Válvula modulante para control de apertura: La válvula que se utilizó fue una BURKERT 2300 con un regulador de posición 8693. Se trata de una válvula de asiento inclinado de dos vías con accionamiento neumático.

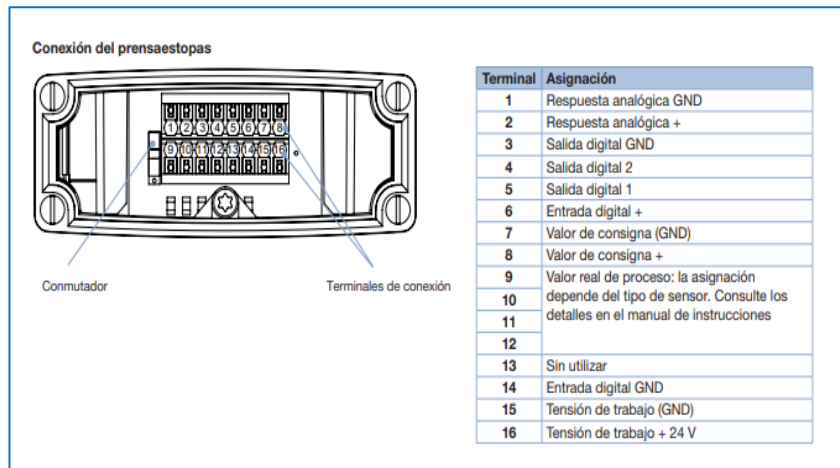
Las ventajas que presenta la válvula de asiento BURKERT son:

- Apropriado para agua caliente y vapor
- Diseño compacto y robusto en acero inoxidable apropiado para aplicación higiénicas.
- Sencilla puesta en marcha

La figura 31 muestra la conexión de la válvula de asiento BURKERT empleada.

Figura 31

Conexión de la válvula de asiento inclinado BURKERT



Nota. Tomada de BURKERT (1977). Disponible en: <https://bit.ly/40jd4mS>

Las especificaciones técnicas que presenta la válvula de asiento BURKERT son:

- Conexión: 1" NPT
- Alimentación: 24 Vdc
- Señal de entrada: 4-20 mA
- Presión de suministro de aire: 0- 7 bar

La figura 32 muestra la válvula de asiento BURKERT empleada.

Figura 32

Válvula de asiento inclinado BURKERT



Nota. Tomada de BURKERT (1977). Disponible en: <https://bit.ly/40jd4mS>

- Válvulas: Para poder controlar todas las válvulas de dos y tres vías (ver figura 33 y 34) fue necesario que las válvulas tengan un actuador neumático

(figura 35), además de una electroválvula. La línea de pasteurizado actualmente cuenta con válvulas manuales, posterior a esto es necesario cambiarlas todas para automatizar la línea. La válvula que se utilizó es una de dos vías tipo bola 103027 junta estándar-M/M DIM 11851 con actuador neumático 790060, de la marca 4GGHIDINI.

Ventajas

- Fácil instalación.
- Realizar el mantenimiento es sencillo, cuenta con juntas de teflón blanco dando un hermetizado más higiénico - válvula.
- Altamente eficiente por sus juntas internas de bajo coeficiente de fricción-actuador neumático.

Figura 33

Válvula de dos vías



Nota. Tomada de GHIDINI (2023). Disponible en: <https://bit.ly/42jHW8u>

Figura 34

Válvula de tres vías



Nota. Tomada de GHIDINI (2023). Disponible en: <https://bit.ly/40jd4mS>

Figura 35*Actuador neumático.*

Nota. Tomada de GHIDINI (2023).

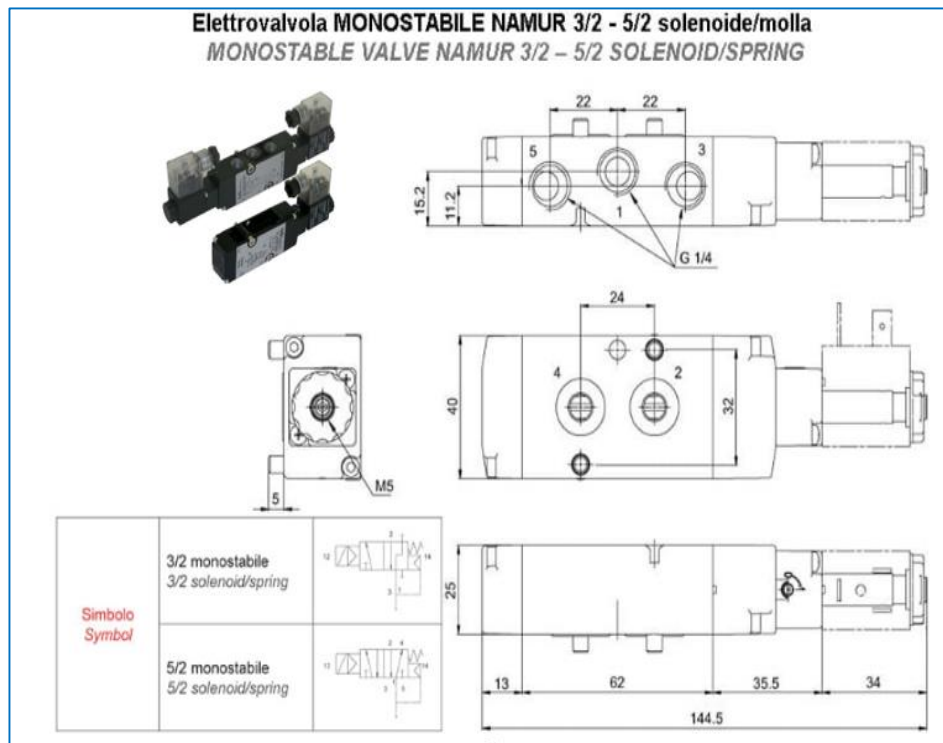
Disponible en: <https://bit.ly/3mYmUfo>

Especificaciones técnicas

- Válvula: dos vías.
 - Cuerpo: acero inox 304- válvula.
 - Cuerpo: aluminio -actuador neumático.
 - Diámetro: DIN 25- válvula.
 - Sellos de junta: teflón virgen- válvula.
 - Temperatura de funcionamiento: -20 a 170 °C.
 - Acabo externo: brillante inox -válvula de dos vías.
 - Presión de trabajo :8 -10 bar – actuador neumático.
- Electroválvulas: Estos dispositivos responden a un pulso eléctrico para poder controlar el actuador de las válvulas de dos vías y tres vías. Las electroválvulas que se usaron en estos proyectos fueron 790700 4GGHIDINI función 3/2 y 5/2, ver figura 36.

Especificaciones técnicas

- Voltaje de trabajo:24 Vdc.
- Grado de protección: ip65.
- Conexión de aire 1/4".

Figura 36*Electroválvulas posición 3/2-5/2.*

Nota. Tomada de GHIDINI (2023). Disponible en: <https://bit.ly/3YSfSpD>

- Bombas: Para tener un control automático de las bombas de la línea de pasteurizado se utilizaron interruptores de flujo ifp-1-intrial, estos sensores son de tipo paleta y se instalaron en la línea de leche y cierran un contacto eléctrico on - off cuando la paleta detecta el flujo de leche. Ver figura 37.

Ventajas:

- Su instalación ayudara al cuidado de la bomba, esto evitara que la bomba se encienda cuando no hay flujo de leche.
- Especificaciones técnicas.
- Conexión :1/2”.
- Cuerpo: INOX 304.
- Max presión: 30 bar.
- Temperatura de trabajo: - 40 a 120 °C.

Figura 37*Interruptor de flujo de leche*

Nota. Tomada de INTRIAL (2019).

Disponible en: <https://bit.ly/40iohUI>

- Registro de temperatura de pasteurizado: El registro de temperatura se inicia cuando se empieza a pasteurizar la leche y termina cuando la leche sea enviada a la tina quesera en donde tiene un contacto para el fin del registro de temperatura y llenado de tina quesera.

Básicamente utilizamos un dispositivo data logging en el PLC Siemens 1200 con la finalidad de registrar las temperaturas.

Un dispositivo data logging es un registrador de datos homogéneos según las necesidades del proceso. Este bloque genera un archivo Excel que será extraído desde el web server del PLC siemens 1200. Además, tiene una interfaz en la pantalla HMI para generar el archivo.

- Pantalla HMI: Toda la línea de pasteurizado se controla desde una pantalla HMI TP1500 confort. Se escogió este modelo por la facilidad que presenta a la hora de programar en el SCADA del software TIA PORTAL V16 – WinCC. Ver figura 38.

Especificaciones técnicas

- “SIMATIC HMI TP1500 Confort, mando táctil, Pantalla TFT panorámica de 15”, 16 millones de colores, Interfaz PROFINET, Interfaz MPI/PROFIBUS DP, memoria de configuración de 24 MB, WEC 2013, configurable a partir de WinCC Confort V14 SP1 con HSP” (SIEMENS, s.f.).

Figura 38*Pantalla HMI TP1500*

Nota. Tomada de SIEMENS (s.f.). Recuperado de <https://bit.ly/42xRc9c>

3.6.2.4 Controlar caudal de salida

En la línea de pasteurizado se realiza el pasteurizado de leche a (8000 L/h) y la limpieza de la línea de pasteurizado a (10000 L/h). Estos parámetros fueron controlados automáticamente desde el PLC Siemens 1200.

Para el control de la bomba de leche se utilizó el variador de velocidad delta VFD037B23A controlado por el PLC Siemens, ver figura 39. Presenta las siguientes especificaciones técnicas: Potencia: 5 HP, Voltaje de entrada: 220 Vac, trifásico.

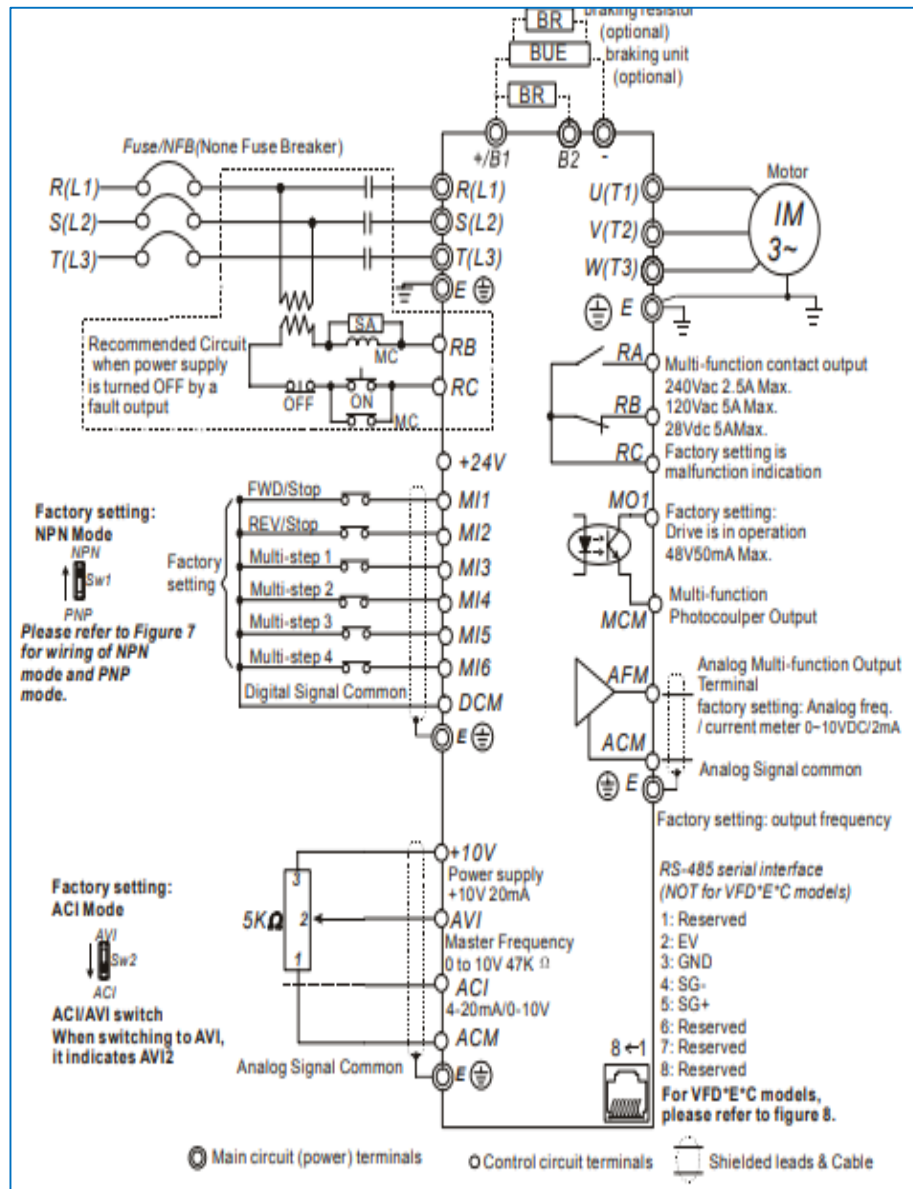
Figura 39*Variador de velocidad*

Nota. Tomada de Wi Automation (s.f.). Recuperado de: <https://acortar.link/KYyRla>

La figura 40 muestra el diagrama de conexión eléctrica del variador de velocidad.

Figura 40

Conexión eléctrica del variador de velocidad



Nota. tomada de ELECTRONICS (2007). Recuperado de <https://bit.ly/3n5PnA8>

3.6.3 Diseño de detalle

Para poder diseñar un sistema de control para la línea de pasteurizado, fue necesario que se pueda controlar y visualizar desde una pantalla HMI lo siguiente (tabla 8).

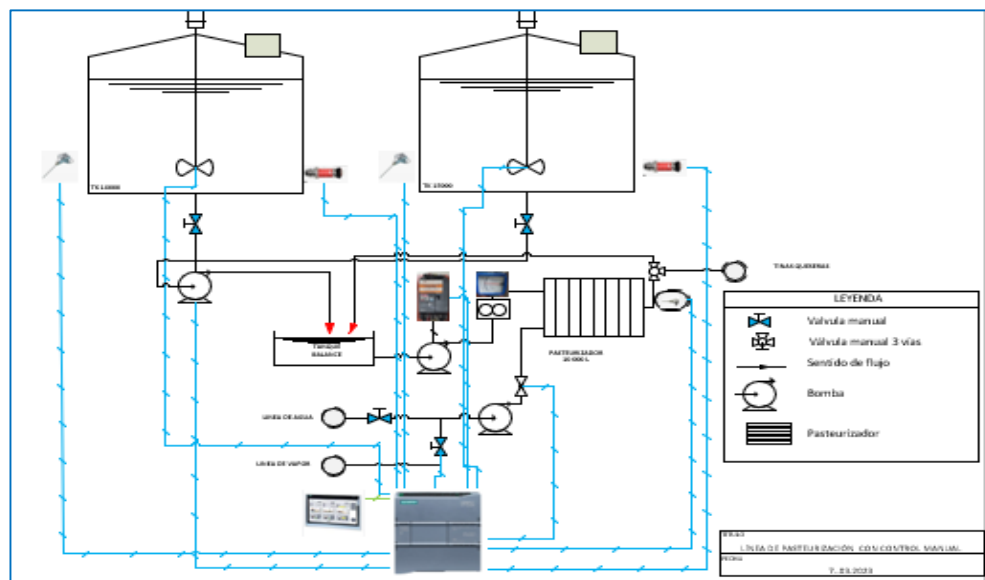
Tabla 8*Etapas del proceso de pasteurización*

1. Medición del nivel de leche y control de agitadores de tanque 1-2	Visualizar el nivel de leche de cada tanque de almacenamiento desde una pantalla HMI. Control de agitadores de cada tanque desde la pantalla HMI.
2. Medición de temperatura de leche tanque 1-2	Visualizar La temperatura de leche de cada tanque de almacenamiento desde una pantalla HMI.
3. Pasteurización de Leche	Controlar la temperatura de pasteurizado desde una pantalla HMI. Control de válvulas y bombas de forma automática, desde una pantalla HMI Registrar la temperatura de pasteurizado desde una pantalla HMI
4. Caudal de salida.	Controlar el caudal de forma automática

Se adjunta diagrama esquemático de la línea de pasteurizado con el nuevo controlador PLC Siemens y la pantalla HMI Siemens, ver figura 41.

Figura 41

Diagrama esquemático con el PLC Siemens y la pantalla HMI

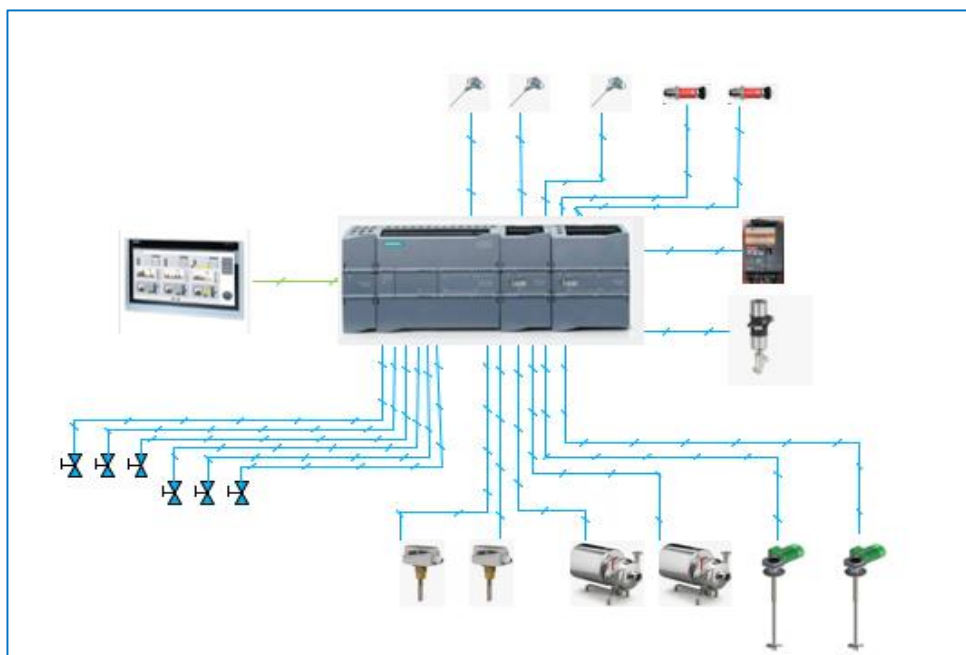


Nota. Diseño planteado en la investigación.

La figura 42 muestra las variables a controlar en la línea de pasteurizado.

Figura 42

Variables a controlar en el sistema de pasteurizado



Nota. Diseño planteado en la investigación

Las Tabla 9 y 10 muestran las variables, equipos y módulos que fueron necesarios para el diseño del sistema de control de la línea de pasteurizado.

Tabla 9

Variable que se van a controlar

Variable	Cantidad	Equipo
Sensor de temperatura	3	Sensor de temperatura pt100
Válvulas de dos vías	4	Válvula de bola 2" con actuador neumático electroválvula de 3/2 de 24 Vdc.
Válvula de tres vías	1	Válvula de bola 2" con actuador neumático electroválvula de 3/2 de 24 Vdc.
Válvula modulante	1	Válvula modulante de 1" burker 2300 (salida de 4-20 mA 24 Vdc
interruptor de flujo	2	Interruptor de flujo en inox de ½" x 1"
Sensor de nivel	2	Sensor de nivel por presión hidrostática MBS4510 rango de trabajo 0-1 bar de 1"
Bombas	3	Bomba de 5 hp en inox a 10 000l/h
Agitadores	2	Agitadores de leche 1 hp

Tabla 10

Módulos que necesita el PLC SIMATIC S7-1200 para el control de variable

Cantidad	Equipo
1	Fuente de alimentación. Entrada: 24Vdc- 6EP1332-1SH71.
1	CPU 1214C-PLC SIEMENS CPU compacta, DC/DC/DC
1	E/S Módulo digital SM 1223, 8 ED/ 8 SD, 8 ED DC 24 V, 8 SD, Relé
1	Entrada Analógica, SM 1231, 4 x Módulo EA RTD
1	Módulo de salidas analógicas, SM 1232, 4 AO
1	STARTER KIT TP1500 COMFORT

Para poder controlar todas las variables fue necesario realizar una programación en el PLC Siemens mediante el software TIA PORTAL. En este caso se usó la versión TIA Portal v16. Al iniciar fue necesario realizar el diagrama el flujo de la programación.

Las figuras 43 y 44 muestran los diagramas de flujo principales de la línea de pasteurizado.

Figura 43

Diagrama de flujo de control PID - temperatura

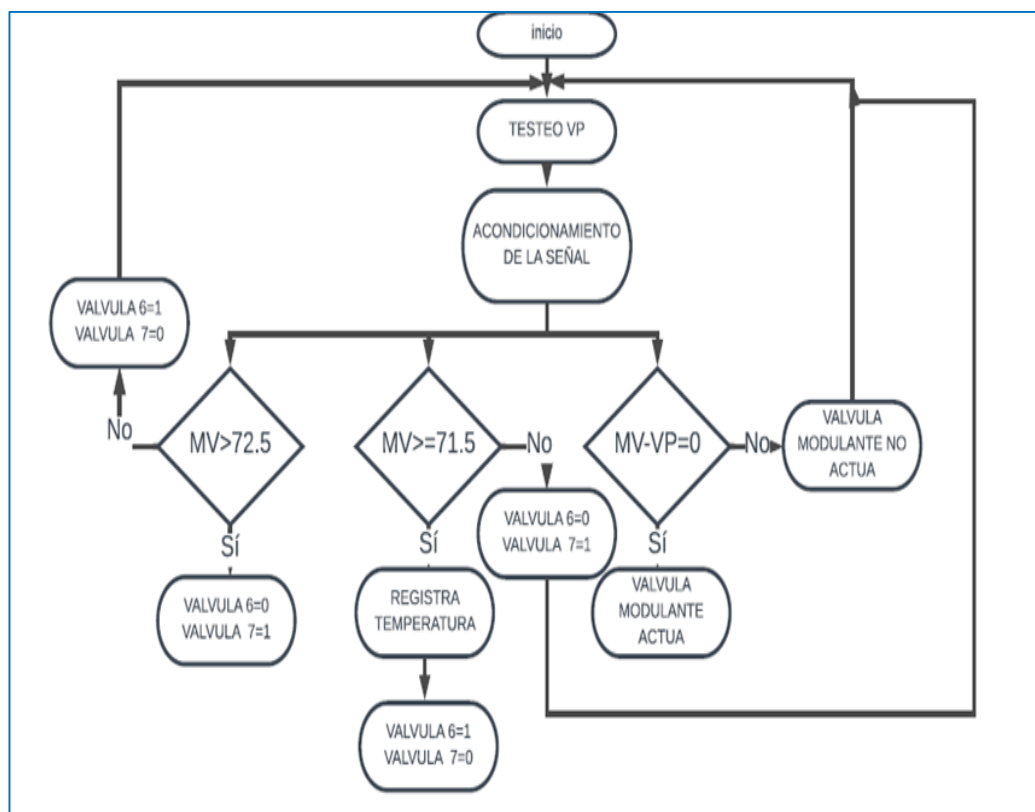


Figura 44.

Flujo de inicio de control de válvulas y bombas



3.6.3.1 Implementación de la simulación

Para poder desarrollar una simulación del proceso de la línea de pasteurizado de la leche, se desarrolló una secuencia de actividades que a continuación se van a describir.

Para simular el proceso de la línea de pasteurizado de la leche, se calentó la leche en un pequeño tanque de 1 L con una resistencia eléctrica, cuya temperatura fue sensado por un sensor de temperatura PT100.

Para simular las válvulas, bomba, y agitadores empleados en el proceso de la línea de pasteurizado de la leche, se utilizaron memorias en la plataforma del software TIA Portal, el cual se pudo visualizar desde Wincc, que es un sistema de control y supervisión desarrollado por Siemens

Para simular sensores de temperatura de los tanques de leche se conectó un sensor PT100 al PLC.

Para simular los sensores de nivel se conectó un módulo de voltaje al PLC pues estos sensores envían corriente, pero con una resistencia se puede convertir a voltaje de 0-10 Vdc.

Para simular el registro de la temperatura del pasteurizado se registró la temperatura del calentamiento de leche en el tanque de 1 L.

Para simular el control de caudal de la bomba se utilizó memorias en el software TIA Portal el cual se pudo visualizar desde Wincc.

Este proceso fue controlado por la interfaz gráfica del software TIA portal v16 en este caso por el Wincc.

3.6.3.2 Implementación a escala

Se implementó una maqueta que representa a escala la línea del proceso de pasteurizado de la leche, tal como se muestra en el diagrama esquemático de la figura 45.

Figura 45

Diagrama esquemático de la maqueta



La Tabla 11 muestra la relación de dispositivos y equipos de control empleado en la maqueta.

Tabla 11

Implementación de maqueta

Cantidad	Equipo
1	SIMATIC S7-1200-1214C-DC/DC/RELAY Fuente de alimentación estabilizada. Entrada:24 Vdc- 6EP1332-1SH71.
1	SIMATIC S7-1200, Entrada Analógica, SM 1231, 4 x Módulo EA RTD
2	Sensor de temperatura PT100
1	Fuente de energía de 0-10 V.
1	Fuente de alimentación de 24 V.
1	Relé de estado sólido.

1	Resistencia eléctrica 2000 w
1	Signal board 1232 AQ X 1 salida analógica.
1	Convertidor de voltaje de 0 - 5 V a PWM.

3.6.3.3 Implementación de la función de transferencia del proceso

La función de transferencia es una herramienta que se utilizó para describir la relación entre la entrada y la salida de un sistema dinámico. En otras palabras, la función de transferencia es una representación matemática de como el sistema responde a las entradas.

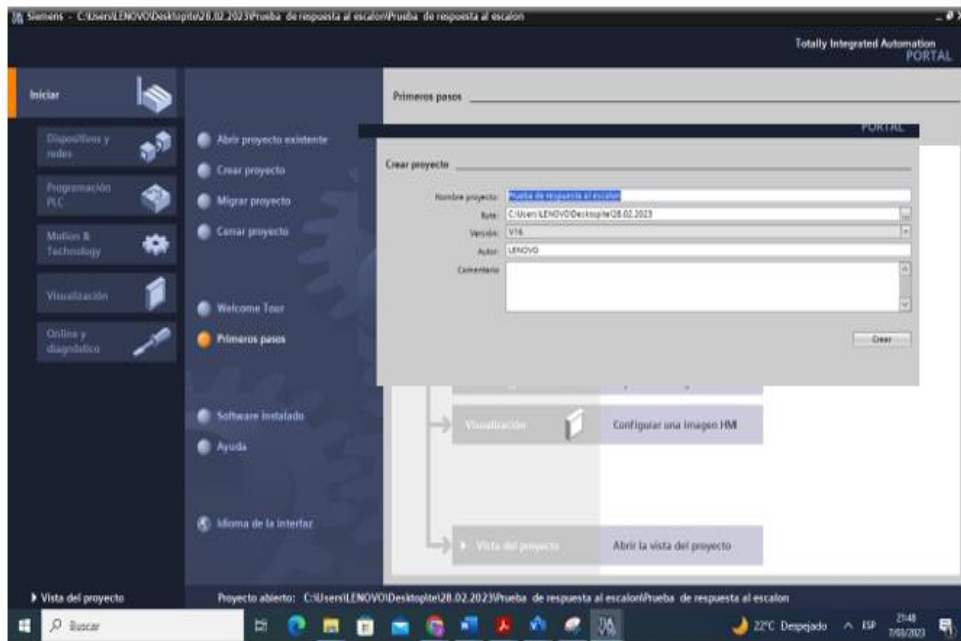
Se utilizó el PLC siemens S7-1200 para la obtención de la función de transferencia, se realizó una prueba de respuesta al escalón. En esta prueba se aplica una señal de entrada escalonada al sistema y se mide la respuesta del sistema a lo largo del tiempo.

Para poder realizar esta prueba, se utilizó el bloque PID desarrollada en la plataforma TIA PORTAL V16 de Siemens donde se configuró para enviar un escalón al 50 %.

Para la implementación se creó un proyecto en el TIA Portal con el nombre prueba de respuesta al escalón, tal como se muestra en la figura 46.

Figura 46

Creación del proyecto en TIA PORTAL V16

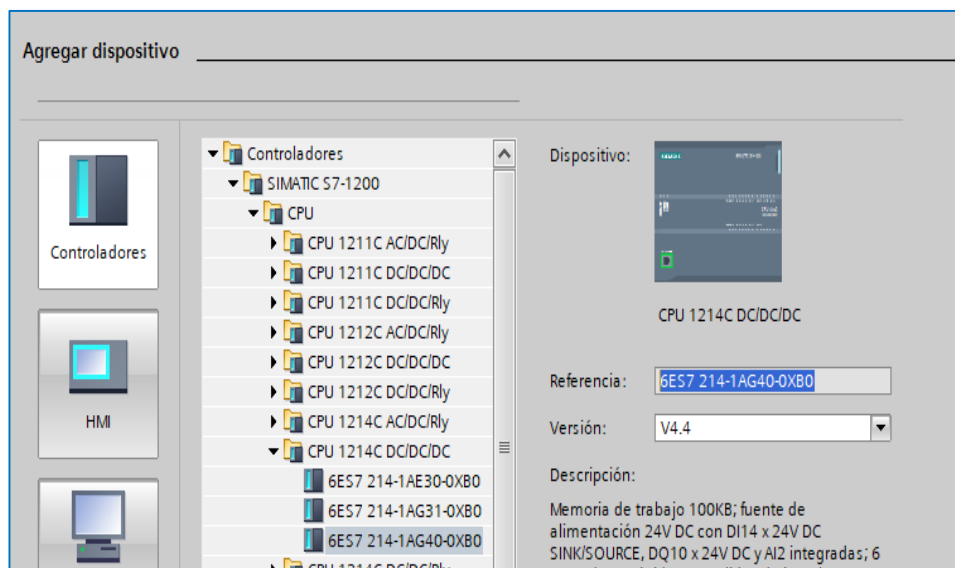


Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Se agregó el dispositivo controlador, en este caso PLC Siemens 1200 1214c dc/dc/relay 6ES7 214-1AG40-0XB0.

La figura 47 muestra la configuración realizada para la selección del controlador programable S7-1200 de Siemens.

Figura 47
Selección de PLC



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Se agrega al PLC el módulo de entrada analógica, SM 1231, 4 x módulo EA RTD para la lectura de los sensores PT100 y el signal board 1232 AQ X 1 para controlar la salida analógica del PID.

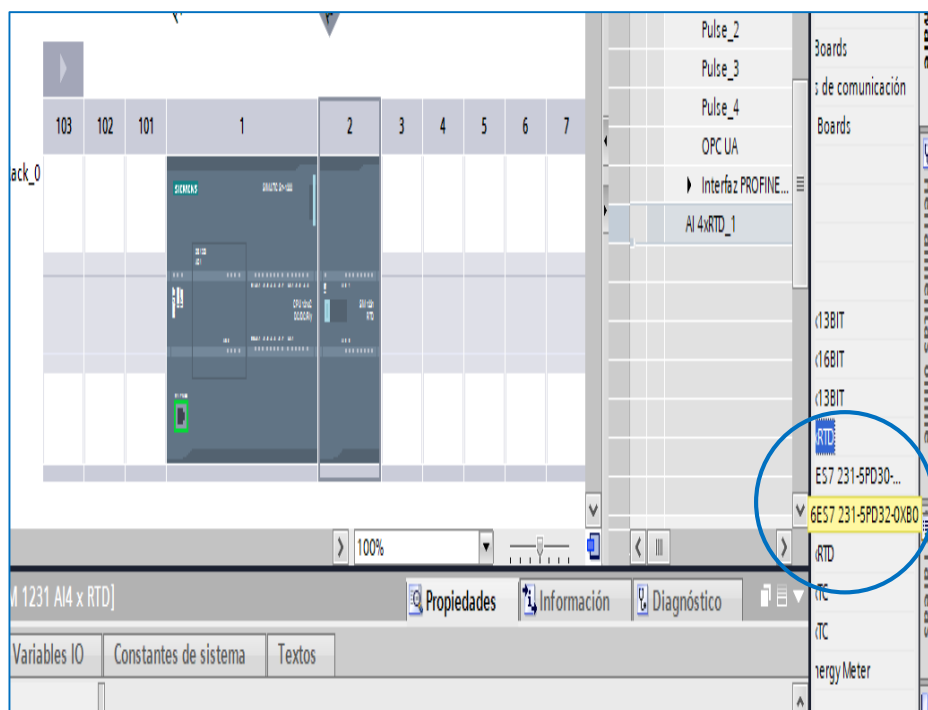
3.6.3.4 Configuración del módulo RTD SM 1231 AI4 x RTD

Se configura para un sensor PT100 de 3 hilos, estándar y la escala de temperatura en este caso grados Celsius para esta prueba utilizaremos la entrada RTD iw96.

Las figuras 48 y 49 muestran las configuraciones realizadas del módulo RTD y del sensor PT 100.

Figura 48

Configuración del módulo RTD



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Figura 49*Configuración sensor PT100*

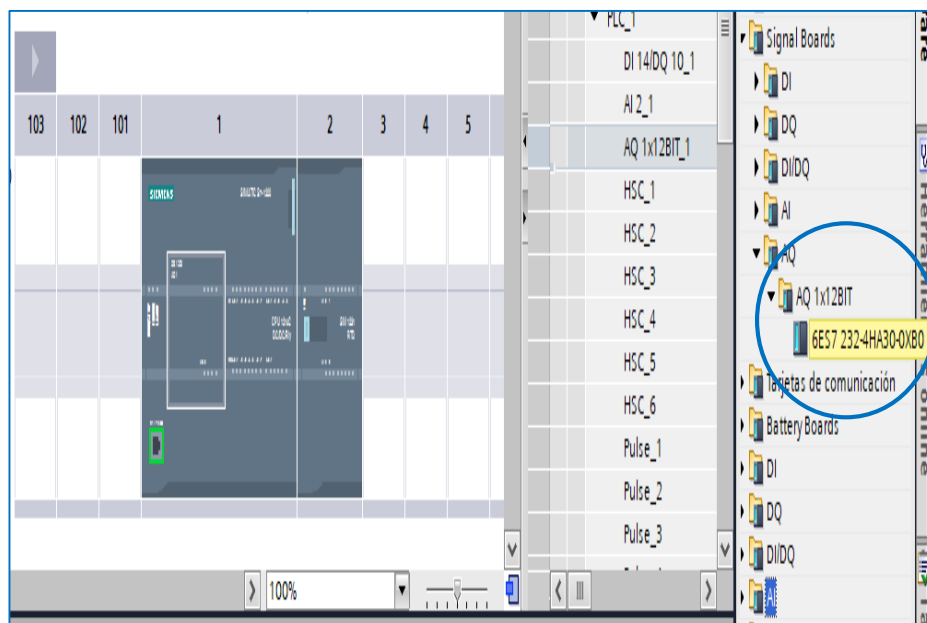
Dirección de canal:	IW96
Tipo de medición:	Termorresistencia (3 hilos)
Termorresistencia:	Pt 100 estándar
Coefficiente de temperatura:	Pt 0.00385055 Ohm/Ohm/°C (DIN EN 60751)
Escala de temperatura:	Celsius
Filtrado:	Fuerte (32 ciclos)

Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16

3.6.3.5 Configuración del signal board 6ES7 232-4HA30-0XB0

Se configura para una salida por voltaje de 0 -10 V. Para esta prueba utilizamos la entrada RTD QW80. Esta salida de voltaje del signal board se escala de 0 -10 Vdc a 0 - 5 Vdc pues este voltaje ingresa a un convertidor de voltaje de 0 - 5 Vdc a PWM.

Las figuras 50 y 51 muestran las configuraciones realizadas en el signal board.

Figura 50*Configuración del signal board*

Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Figura 51

Configura para una salida por voltaje

Dirección de canal: QW80

Tipo de salida analógica: Tensión

Rango de tensión: +/- 10 V

Valor sustitutivo para canal en de transición de RUN a S... 0.000 V

Activar diagnóstico de cortocircuito

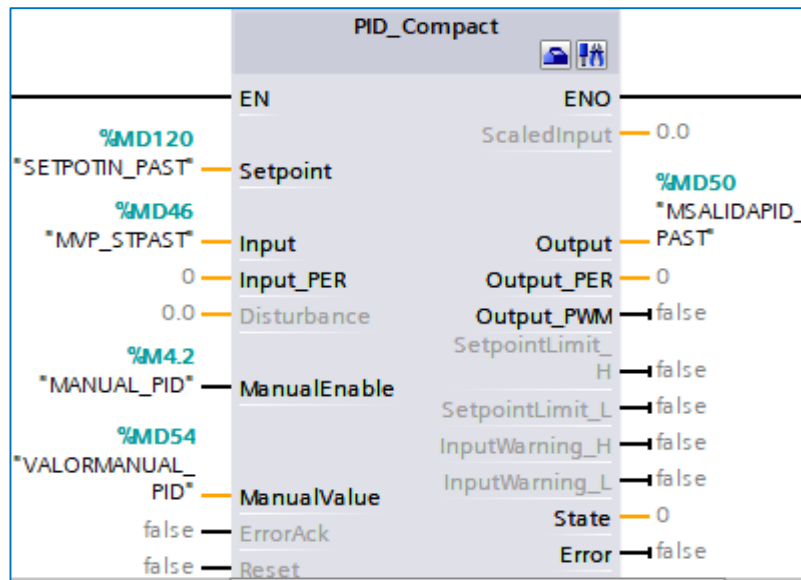
Activar diagnóstico de rebase por exceso

Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Se configuró el bloque PID en modo manual para poder lanzar un escalón al 50 %. Las configuraciones se pueden apreciar en las figuras 52 y 53.

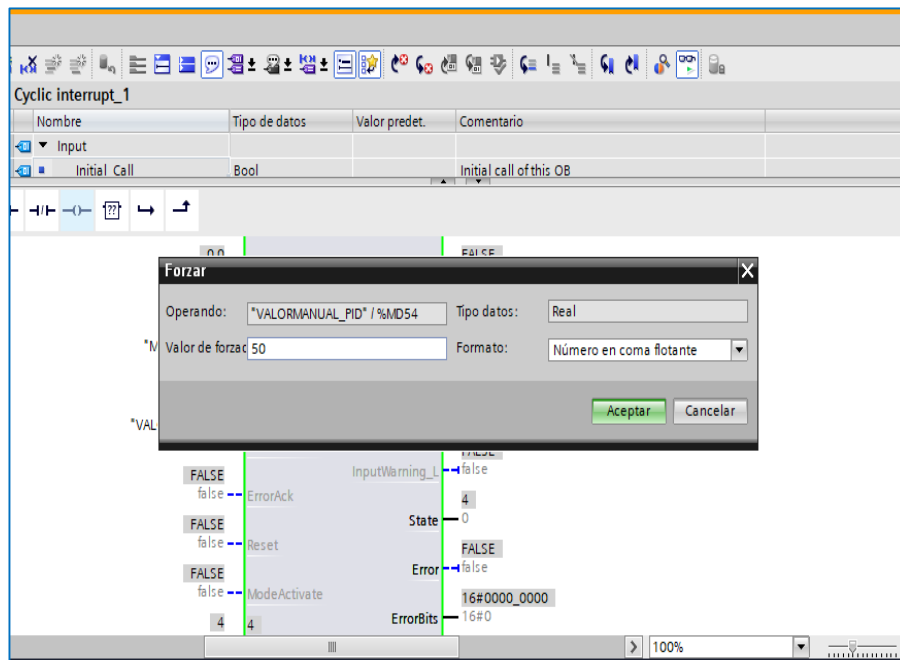
Figura 52

Configuración bloque PID



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

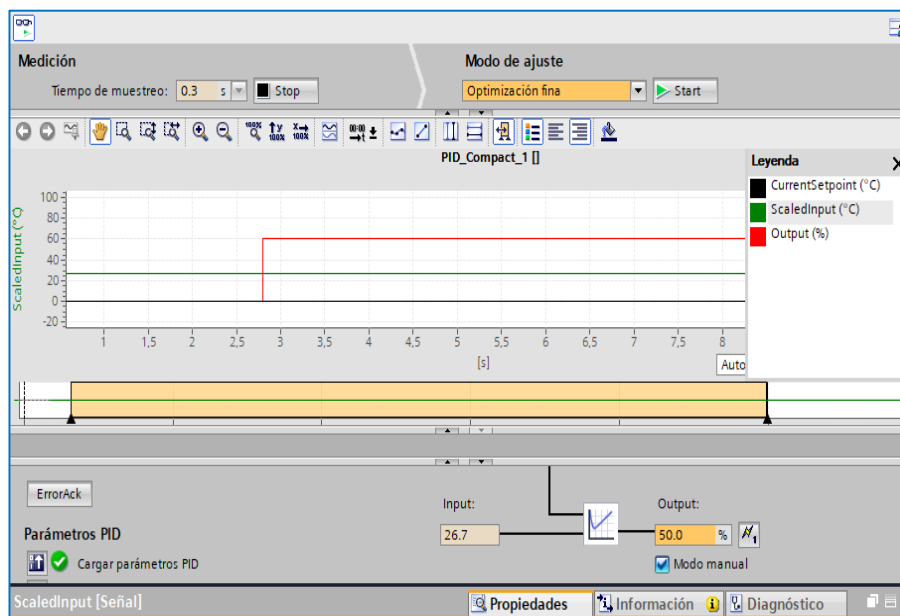
Figura 53
Valor manual al 50 %



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

La figura 54 muestra la puesta en servicio del "PID_Compact_1" donde se visualiza el escalón al 50%

Figura 54
Puesta en servicio del "PID_Compact_1"



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Se requirió registrar el comportamiento de la temperatura en el tiempo y a que temperatura se estabiliza. utilizando un dispositivo data logger. El data logger fue configurado para registrar la temperatura desde el momento que se genera el escalón. La información generada se extrajo en un Excel. Ver tabla 12.

Tabla 12

Tabulación de valores obtenidos

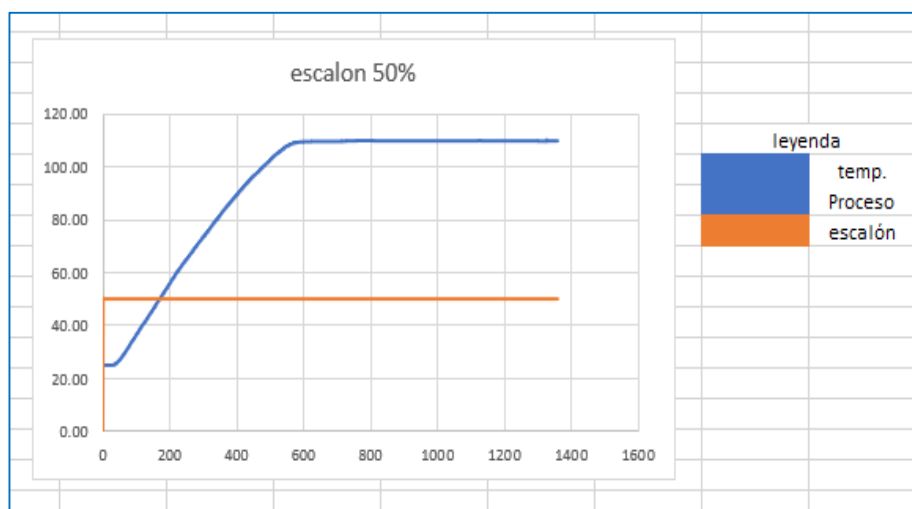
Record	Date	UTC Time	
1	24.8 07.03.2022	7:21:00	0
2	24.8 07.03.2022	7:21:01	0
3	24.8 07.03.2022	7:21:02	0
4	24.8 07.03.2022	7:21:03	0
5	24.8 07.03.2022	7:21:04	0
6	24.8 07.03.2022	7:21:05	0
7	24.8 07.03.2022	7:21:06	0
8	24.8 07.03.2022	7:21:07	0
9	24.8 07.03.2022	7:21:08	0
10	24.8 07.03.2022	7:21:09	0
11	24.8 07.03.2022	7:21:10	0
12	24.8 07.03.2022	7:21:11	0
13	24.8 07.03.2022	7:21:12	0
14	24.8 07.03.2022	7:21:13	0
15	24.8 07.03.2022	7:21:14	0
16	24.8 07.03.2022	7:21:15	0
17	24.8 07.03.2022	7:21:16	0
18	24.8 07.03.2022	7:21:17	0
19	24.8 07.03.2022	7:21:18	0
20	24.8 07.03.2022	7:21:19	0
21	24.8 07.03.2022	7:21:20	0
22	24.8 07.03.2022	7:21:21	0

Nota. Información generada por el dispositivo data logger

La grafica de la figura 55 muestra la evolución de la variación de la temperatura en el proceso de pasteurizado simulado, que se obtuvo desde el dispositivo data logger.

Figura 55

Información extraída desde el data logger



Nota. Información generada por el dispositivo data logger

Como podemos apreciar en la gráfica se demuestra que es un sistema de primer orden, donde K_p es la ganancia del sistema, θ (theta) es retardo o tiempo muerto del sistema, τ es la constante de tiempo del sistema, la función de transferencia está representada por la siguiente expresión:

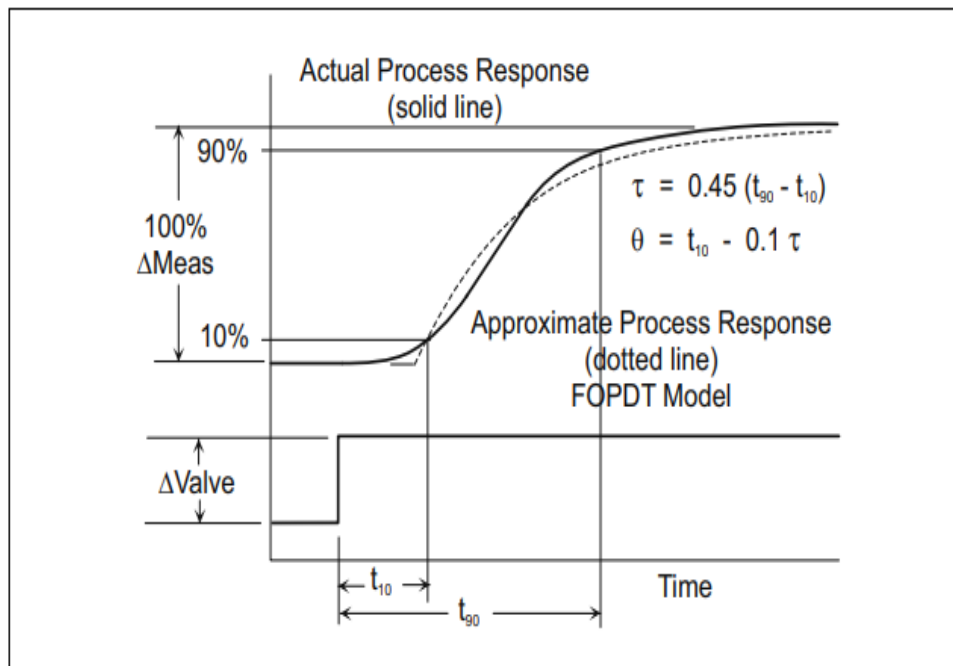
$$G(s) = \frac{K_p \cdot e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (1)$$

Para determinar los valores de la ganancia, theta y tau utilizamos el modelo FOPDT (Método no tangente para aproximar una respuesta de prueba de lazo abierto con un modelo).

La figura 56 muestra la gráfica del método no tangente FOPDT.

Figura 56

Método no tangente FOPDT



Nota. Tomada de Wade (2017). Recuperado de Copyrighted Materials.

A continuación, hallamos los siguientes valores de la variable manipulada ΔMV y la variable del proceso ΔPV .

ΔMV = variable manipulada

ΔPV = variable del proceso

$$\Delta MV = 50\%$$

$$\Delta PV = 109,7 - 24,8$$

$$\Delta PV = 84,9 \%$$

$$\Delta Kp = \frac{\Delta PV}{\Delta MV} \quad (2)$$

$$\Delta Kp = \frac{84,9 \%}{50\%}$$

$$Kp = 1,69$$

$$10 \% \Delta PV = 8,49$$

$$90 \% \Delta PV = 76,41$$

$$PV(t_{10}) = 24, +8,49 = 33,29 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Según la tabla de Excel el proceso llego a 33,29 °C en el tiempo de 86 segundos

$$t_{10} = 86 \text{ s}$$

$$PV(t_{90}) = 24,8 + 76,41 = 101,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Según la tabla de Excel el proceso llego a 101,21°C en el tiempo de 491 segundos

$$t_{90} = 491 \text{ s}$$

hallamos tau

$$\tau = 0,45(t_{90} - t_{10}) \quad (3)$$

$$\tau = 182,25 \text{ s}$$

Hallamos theta

$$\theta = t_{10} - 0.1 \tau$$

$$\theta = 67,75 \text{ s}$$

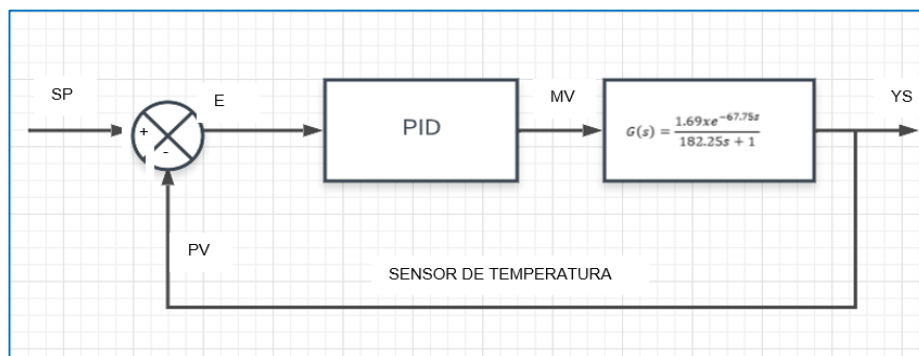
Teniendo estos tres valores podemos hallar la función de transferencia en este caso sería la siguiente ecuación.

$$G(s) = \frac{1,69 \cdot e^{-67,5s}}{182,5s + 1}$$

La figura 57 muestra la representación en diagrama de bloques del proceso de la línea de pasteurizado de la leche empleando la función de transferencia obtenida.

Figura 57

Representación de la función de transferencia



3.6.3.6 Parámetros PID

Para obtener los parámetros del PID utilizaremos el método de sintonización lambda que utiliza los mismos datos que se obtiene en el método FOPDT. La idea es ajustar estos parámetros para que el controlador pueda mantener el proceso dentro de un rango específico de valores deseado.

A continuación, tenemos los siguientes valores obtenidos en la función de transferencia.

$$Kp = 1,69$$

$$\tau = 182,25 \text{ s}$$

$$\theta = 67,75 \text{ s}$$

Además, necesitamos tener el valor de lambda:

$$\tau > \lambda < 4 \tau$$

Tomamos como referencia 2.5 tau, entonces lambda seria:

$$\lambda = 455,6$$

Las ecuaciones para los parámetros Kc, Ti, Td son las siguientes

$$Kc = \frac{1}{Kp} * \frac{\tau}{(\frac{\theta}{2} + \lambda)} \quad (4)$$

$$Ti = \tau \quad (5)$$

$$Td = \frac{\theta}{2} \quad (6)$$

Reemplazamos lo valores para obtener los parámetros PID

$$Kc = \frac{1}{1,69} * \frac{182,25}{(\frac{67,75}{2} + 455,6)}$$

$$Kc = 0,2203$$

$$i = 182,25$$

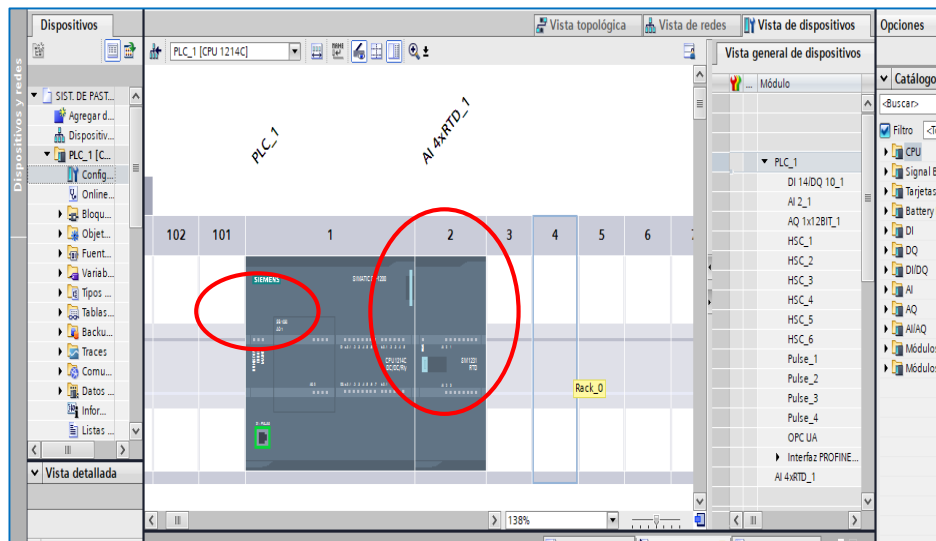
$$Td = 33,88$$

La prueba de escalón es un método común para obtener los parámetros PID iniciales en la plataforma TIA Portal, que implica aplicar una entrada de escalón al proceso y observar la respuesta del sistema. Sin embargo, la respuesta del sistema a una entrada de escalón puede variar dependiendo de las condiciones del proceso.

3.6.3.7 Configuración del programa

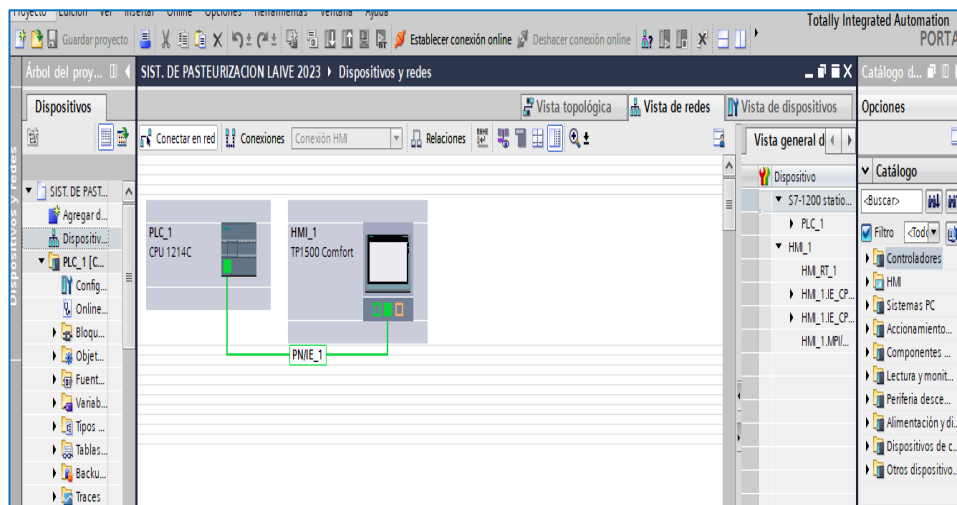
Para iniciar la programación de la maqueta con la cual se va simular el proceso de pasteurizado, se genera un nuevo proyecto en el programa TIA PORTAL con el nombre "sistema de pasteurización de leche", ver figura 58. Se agrega al PLC S7-1200 1214c dc/dc/relay, el módulo de entrada analógica SM 1231, 4 x módulo EA RTD para la lectura de los sensores PT100, el signal board 1232 AQ X 1 para controlar la salida analógica del PID y la pantalla HMI KTP 1500, tal como se muestra en la figura 59.

Figura 58
Generación de un nuevo proyecto



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Figura 59
Incorporación de la pantalla HMI KTP 1500



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

3.6.3.8 Bloque de organización principal llamado línea de pasteurización.

Segmento 1: Medición de nivel de tanques de almacenamiento de leche

Para poder medir el nivel de leche en los tanques de almacenamiento utilizamos:

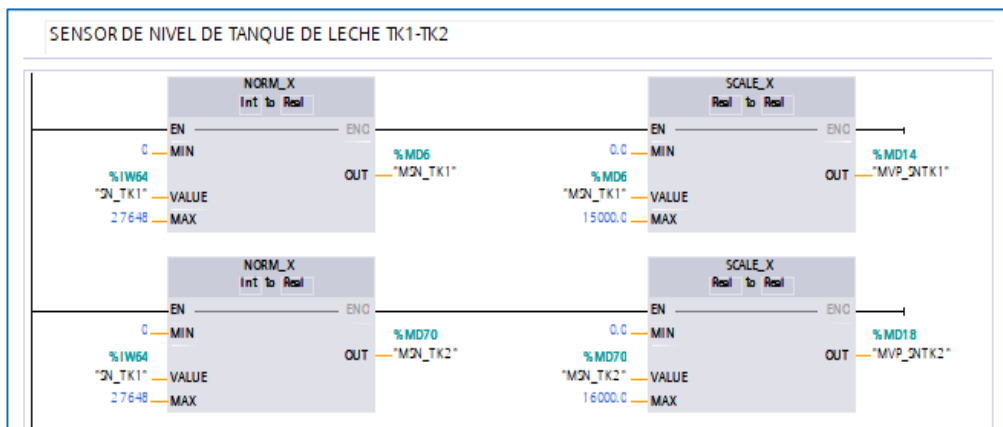
La entrada analógica del PLC iw64. En este caso el sensor de nivel utilizó una señal de corriente de 4-20 mA, pero para poder realizar la simulación en la maqueta se utilizó una fuente de voltaje de 0 a 10 V.

El voltaje que ingresa es de 0-10 voltios, pero fue normalizado en el bloque NORMA_X con un valor mínimo de 0 a máximo de 27648; seguidamente la variable fue almacenada en una memoria MD6, luego esta fue escalada con el bloque XCALE_X en litros con valor mínimo de 0 a máximo de 15000 L, que es total de leche almacenada en el tanque 1 en la memoria MD14.

Para el segundo tanque por efectos de simulación se utilizó la misma entrada analógica iw64, pero se utilizó diferente memoria donde se guarda la variable normalizada, en este caso MD70 para posterior ser escalada de 0 a 16000 L, que es el total de leche almacenada en el tanque 2 en la memoria MD18. La programación de los sensores de nivel se muestra en la figura 60.

Figura 60

Programación de los sensores de nivel



Nota: Lenguaje KOP empleado en la plataforma TÍA PORTAL V16.

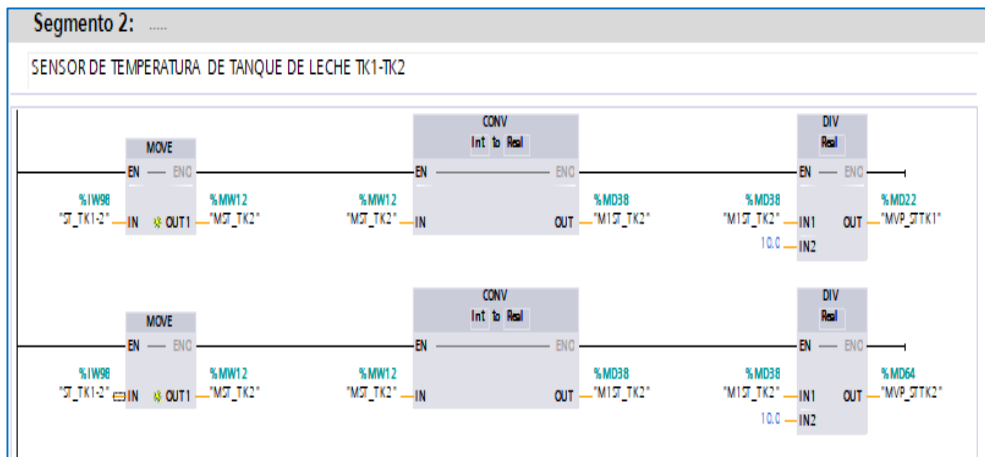
Segmento 2: Medición de temperatura de tanques de almacenamiento de leche

Para medir la temperatura de los tanques de almacenamiento 1 y 2, se utilizó sensores PT100 para cada uno de los dos tanques de almacenamiento. En esta maqueta se cuenta con el módulo SM 1231, 4 x módulo EA RTD.

Para la realizar la programación se está utilizando la entrada iw98 luego la transferimos mediante el bloque MOVE a la memoria MW12 la cual será convertida de una variable entera a real mediante el bloque CONV en la memoria MD38 luego este valor se divide en 10 para obtener los °C. La figura 61 muestra la programación de los sensores de temperatura.

Figura 61

Programación de los sensores de temperatura



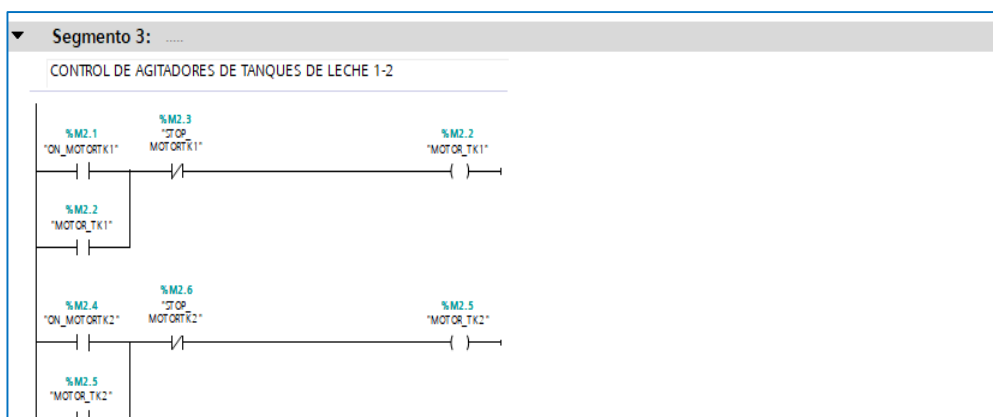
Nota: Lenguaje KOP empleado en la plataforma TÍA PORTAL V16.

Segmento 3: control de agitadores de tanques de almacenamiento

El control para realizar el encendido y apagado de los agitadores de los tanques se realizó utilizando memorias y un programa de enclavamiento en la memoria M2.2-MOTOR AGITADOR 1, M2.5-MOTOR AGITADOR 2, tal como se observa en la figura 62.

Figura 62

Control de agitadores



Nota: Lenguaje KOP empleado en la plataforma TÍA PORTAL V16

Segmento 4: control de sistema de pasteurizado

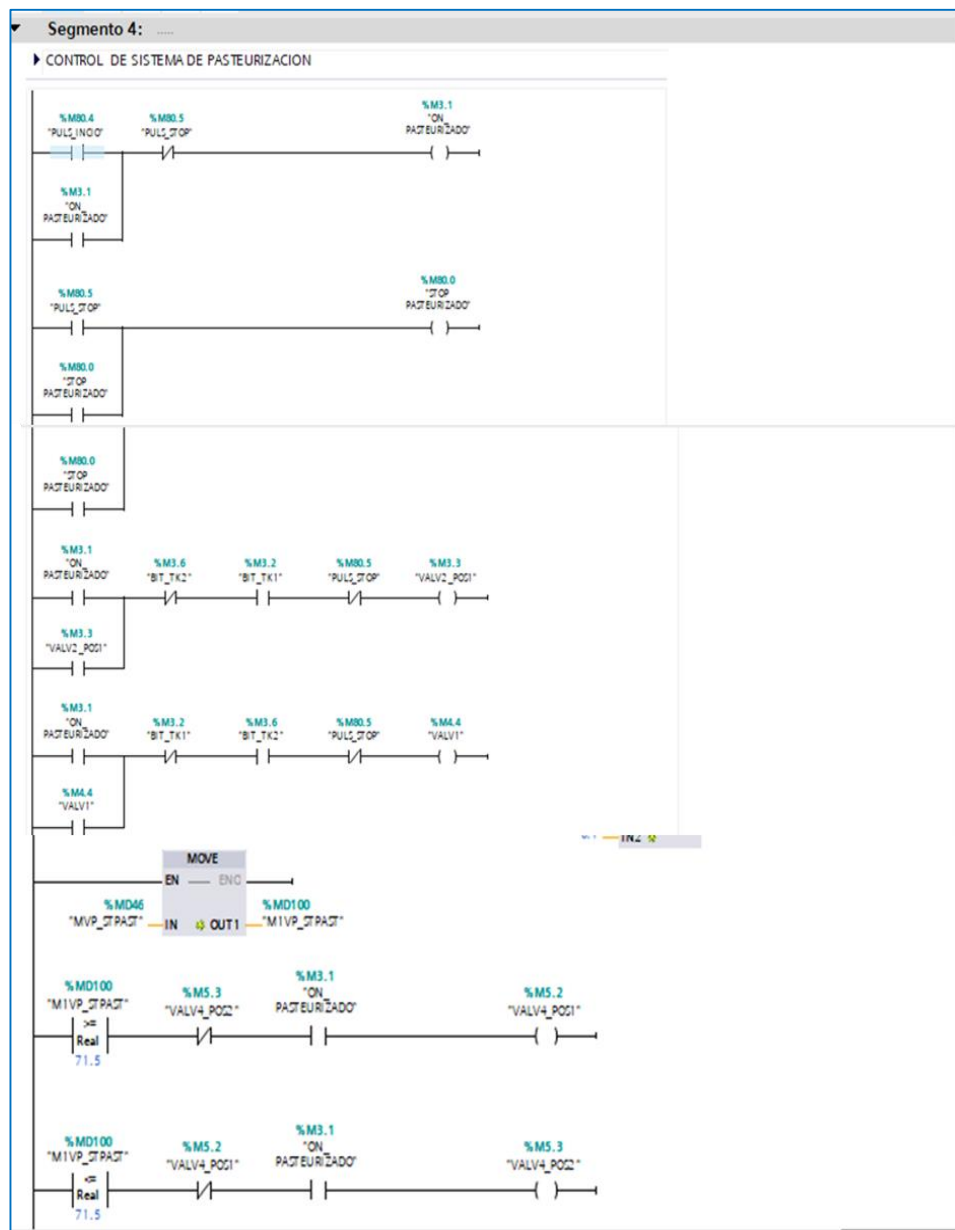
El control del sistema de pasteurizado de la leche, se inició con un enclavamiento de las memorias de inicio y stop del proceso; luego se configuró el inicio del proceso para proceder a seleccionar uno de los dos tanques de

almacenamiento de leche, sea el caso que se escoja se procedió a encender las electroválvulas; luego de la apertura, se procedió a configurar los interruptores de flujo que, al activarse, active automáticamente las bombas involucradas en el proceso. La figura 63 muestra el control del sistema de pasteurización.

Además, en esta parte del programa se realizó la configuración para que cuando exista una desviación en la temperatura, esta entre en recirculación para la protección de la materia prima.

Figura 63

Control de sistema de pasteurización



Nota: Lenguaje KOP empleado en la plataforma TÍA PORTAL V16.

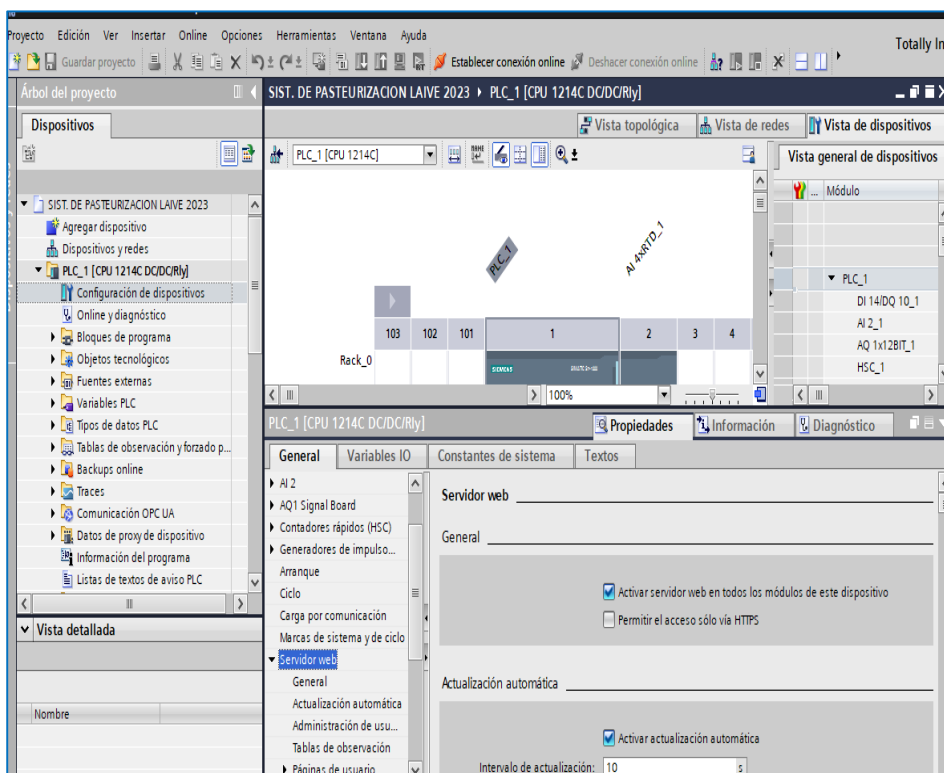
Segmento 5: registro de temperatura

El registro de la temperatura de pasteurizado se realizó con la programación de un data logger – DATALOGCREATE. Este registrador de datos utilizó el servidor web del PLC siemens S7-1200 para poder extraer el archivo en Excel de las temperaturas de pasteurizado.

Se inició habilitando el servidor web en todos los módulos, luego se autorizó los permisos para la generación del archivo Excel, como se muestra en la figura 64.

Figura 64

Permisos para generar Excel

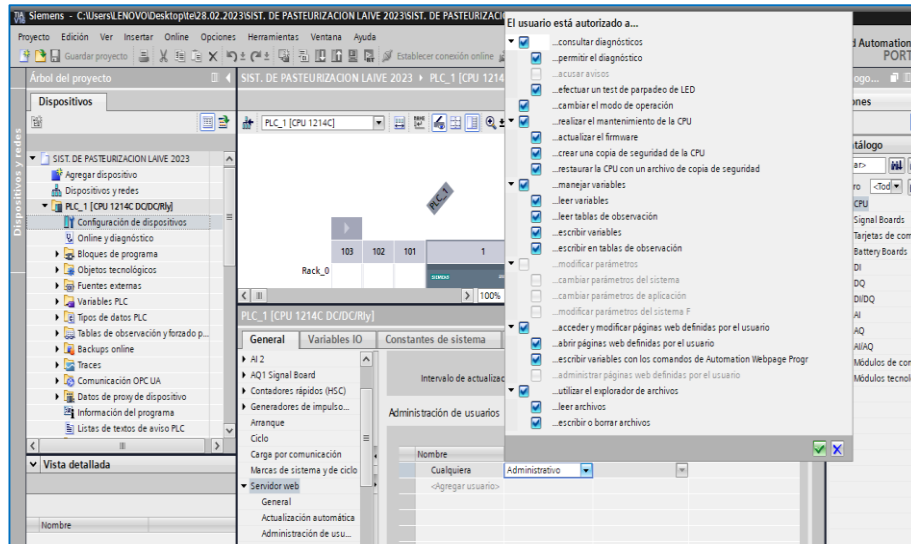


Nota. Programación del data logger en la plataforma TIA PORTAL V16.

Se activó la utilización de byte de marcas de ciclo, para poder generar pulsos y así ingresar los datos al bloque Datalogwrite, ver figura 65.

Figura 65

Activación de la utilización de byte

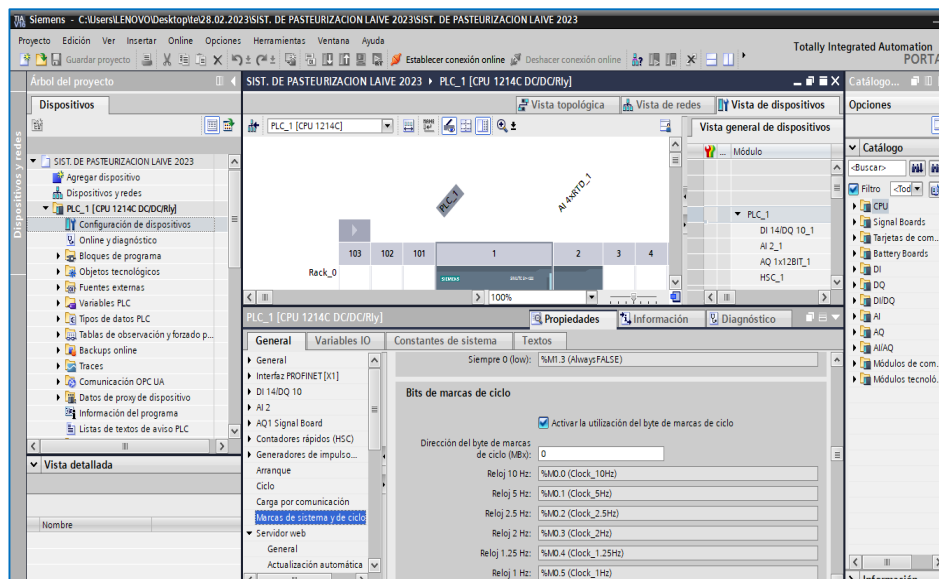


Nota. Programación del data logger en la plataforma TIA PORTAL V16.

Se creó el siguiente bloque de datos con la variable que se utilizó para generar el archivo en Excel de la data logger, tal como se observa en la figura 66.

Figura 66

Creación del bloque de datos



Nota. Programación del data logger en la plataforma TIA PORTAL V16.

El bloque de datos contiene el número de datos, el nombre del archivo, el encabezado, y la variable que se registró en el Excel generado, ver figura 67.

Figura 67

Bloque de datos

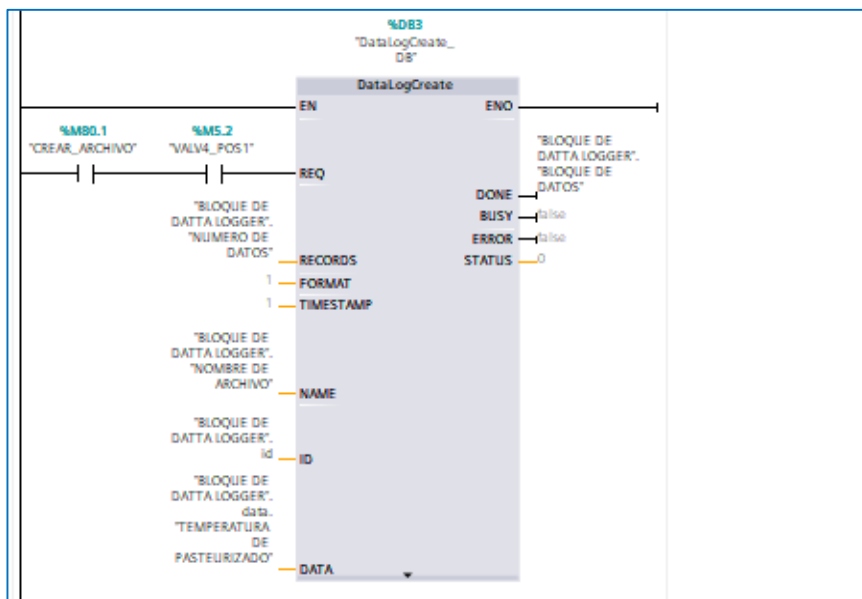
BLOQUE DE DATTA LOGGER									
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de a..	Comentario
	▼ Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	NUMERO DE DATOS	UDInt	1800	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	NOMBRE DE ARCHIVO	String	'4022022'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	id	DWord	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	ENCABEZADO	String	'TEMPERATURA'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	BLOQUE DE DATOS	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	▼ data	Struct		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	TEMPERATURA DE ...	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Nota. Programación del data logger en la plataforma TIA PORTAL V16.

El bloque Datalogcreate fue el encargado de crear el archivo que se extrajo del servidor web. Estaba configurado para que cuando se active la memoria “crear archivo “, esta genere un pulso por la variable “bloque de data logger -bloque de datos “, tal como se muestra en la figura 68.

Figura 68

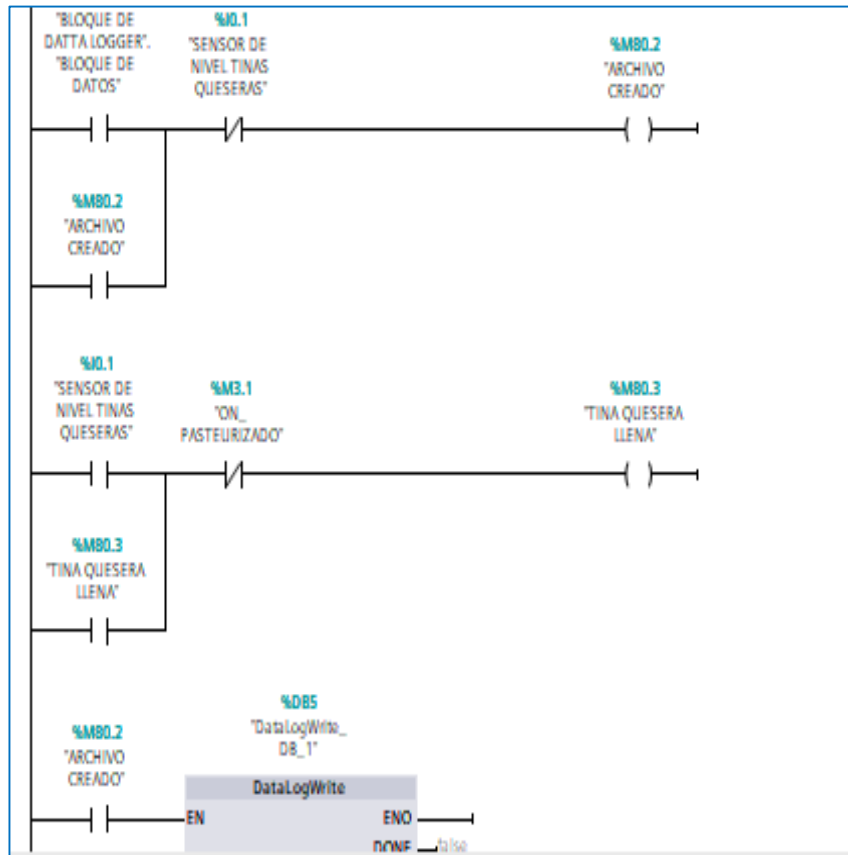
Variable del bloque de data logger



Nota: Lenguaje KOP empleado en la plataforma TÍA PORTAL V16.

La variable bloque del data logger se enclavó con la memoria archivo y solo se deshabilita cuando la leche termine de pasar a la siguiente línea de proceso de elaboración de queso, a la tina quesera, ver figura 69.

Figura 69
Bloque Datalogwrite

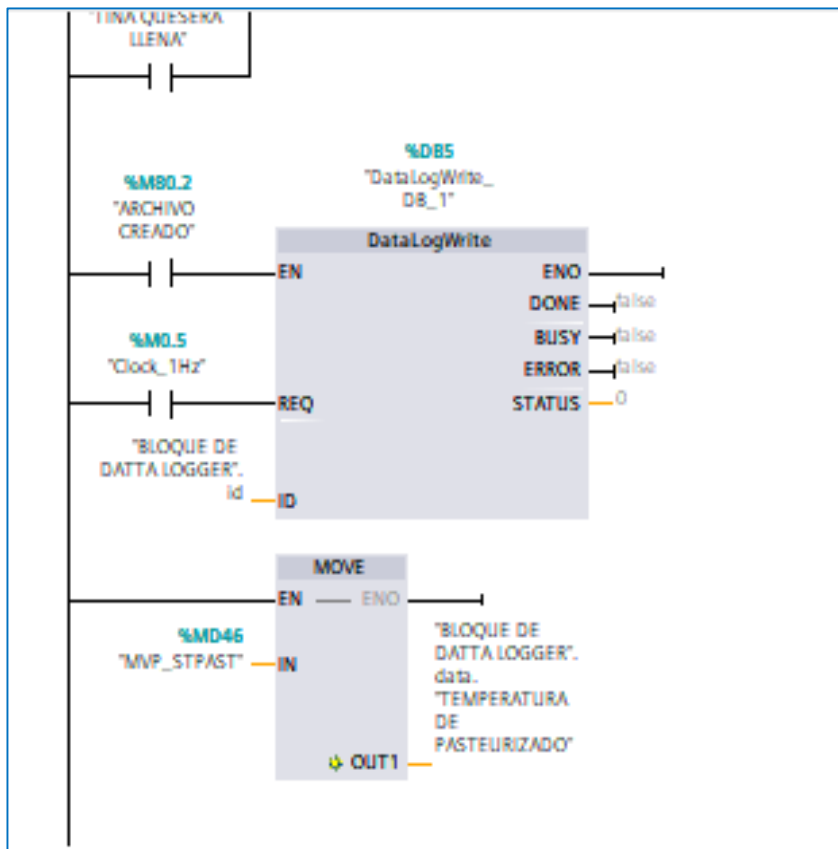


Nota: Lenguaje KOP empleado en la plataforma TÍA PORTAL V16.

El bloque Datalogwrite trabaja con la activación de la memoria M80.2-“archivo creado” y la memoria M0.5 con un reloj de 1Hz (esta fue configurada al inicio). Además, fue el encargado de escribir los datos de la temperatura de pasteurizado en el archivo creado por el bloque Datalogcreate utilizando la variable MD46 -MVP_STPAST, la cual fue transferida mediante el bloque MOVE a la variable “bloque de datos-temperatura de pasteurizado”, como se muestra en la figura 70.

Figura 70

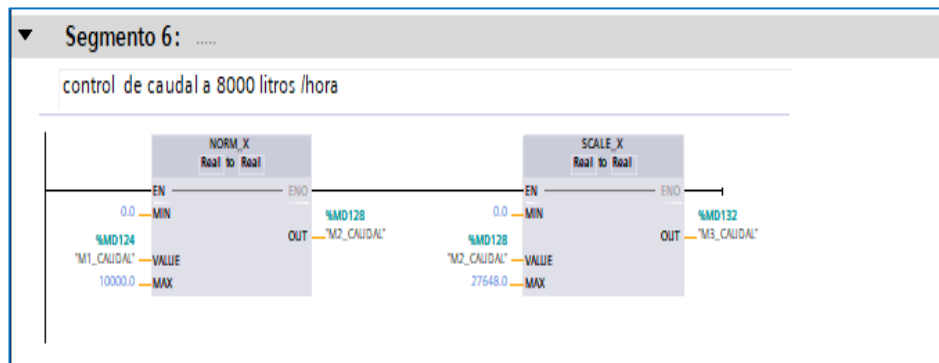
Bloque de datos-temperatura de pasteurizado



Nota: Lenguaje KOP empleado en la plataforma TÍA PORTAL V16

Segmento 6: Control de caudal de salida

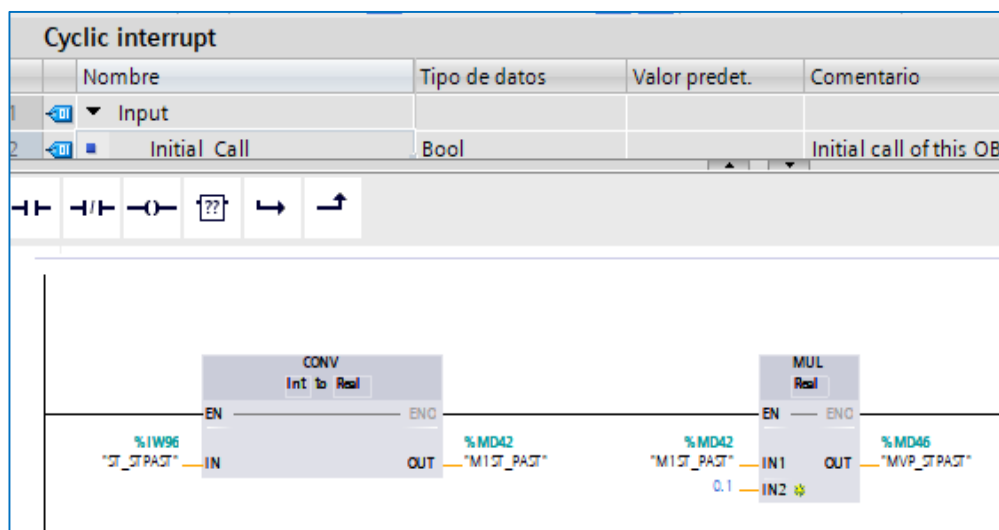
Para realizar el control de caudal de salida, solo se utilizó memorias para poder simular que estamos ingresando al bloque normalizado, como valor mínimo de 0 y como valor máximo 10000, siendo escalada con un valor mínimo de 0 (0 V) a máximo 27648 (10 V). Esta salida fue escalada de 0 a 10 voltios para que el variador tuviese una entrada analógica de 0 a 10 V: Para la programación en campo requiere que observemos el voltaje que se genera cuando el indicador de caudal muestra 8000 L/h. En nuestro caso, se escaló las memorias para poder visualizar los 8000 L/h, como se aprecia en la figura 71.

Figura 71*Control de caudal*

Nota: Lenguaje KOP empleado en la plataforma TÍA PORTAL V16.

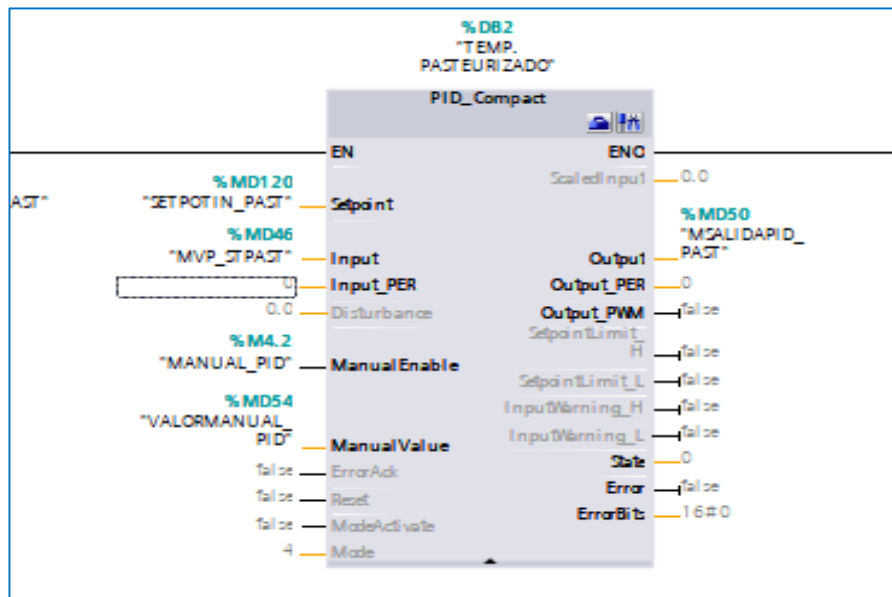
Configuración del PID COMPACT

El bloque del controlador PID tuvo dos entradas y una salida configurada; la primera entrada es para el set point (memoria MD120); la segunda entrada es la variable de proceso (memoria MD46) para que pueda ingresar la temperatura por esta memoria, figura 72. Luego, se realizó una conversión de la entrada IW96 de entero a real y así poder multiplicarlo por 0,1 y obtener la temperatura exacta en grados °C La salida del bloque PID fue configurada en la memoria MD50, luego normalizada de 0 a 100 para posteriormente ser escalada con un valor mínimo de 0 (0 V) y valor máximo de 13824 (5 V) en la salida física QW80, ver figura 73.

Figura 72*Ingreso del bloque PID*

Nota: Lenguaje KOP empleado en la plataforma TÍA PORTAL V16.

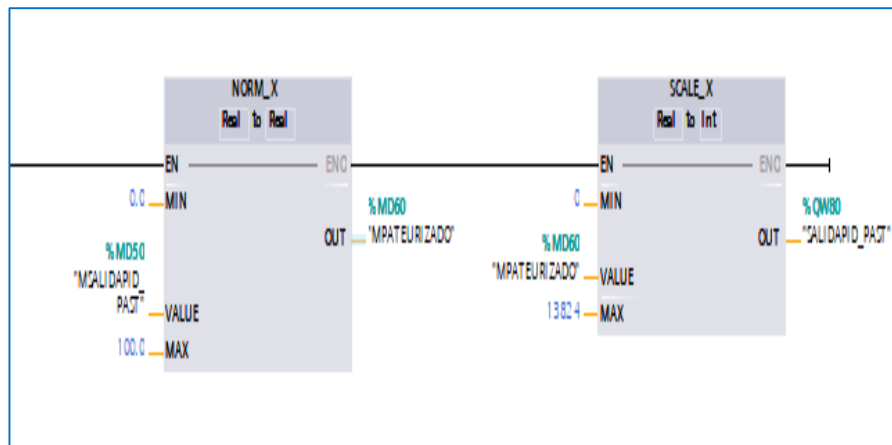
Figura 73
Bloque PID



Nota: Lenguaje KOP empleado en la plataforma TÍA PORTAL V16.

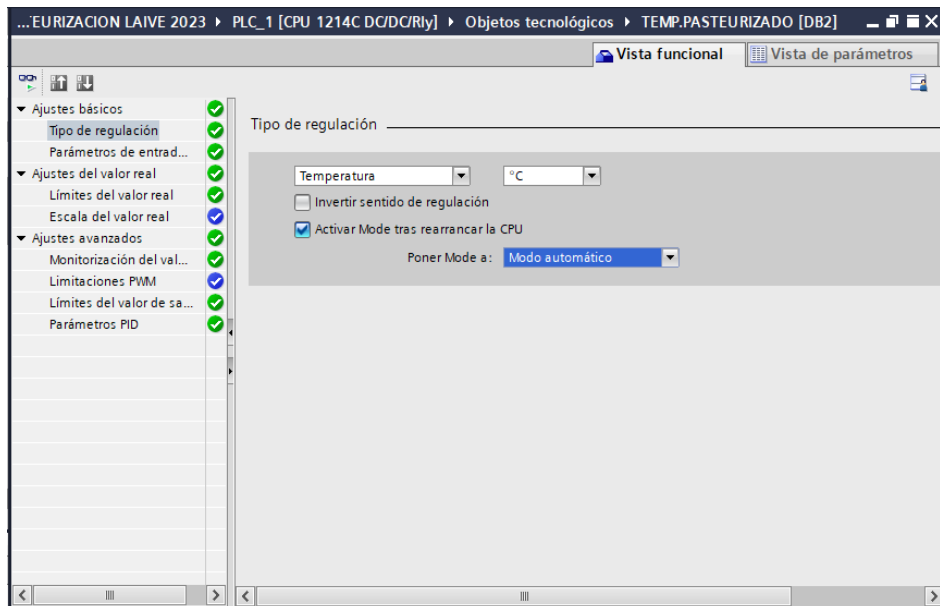
De dicha salida, la temperatura ingresó al convertidor de voltaje de 0-5 voltios del PWM. Ver figura 74.

Figura 74
Salida del bloque PID



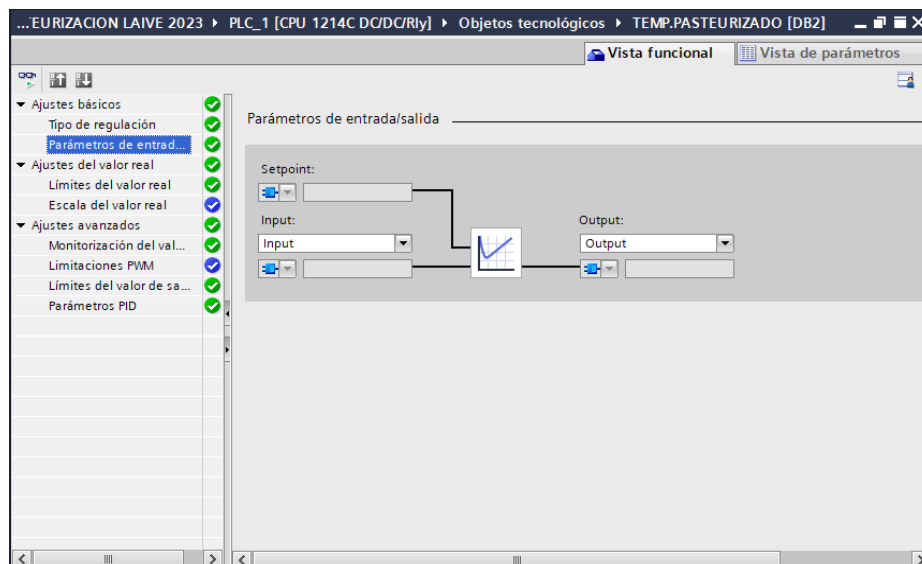
Nota: Lenguaje KOP empleado en la plataforma TÍA PORTAL V16.

Para establecer los parámetros PID obtenidos en base a la función de transferencia, nos dirigimos a la configuración del bloque PID en tipo de regulación configuramos a temperatura y activamos en modo automático, tal como se muestra en la figura 75.

Figura 75*Activación del modo automático*

Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

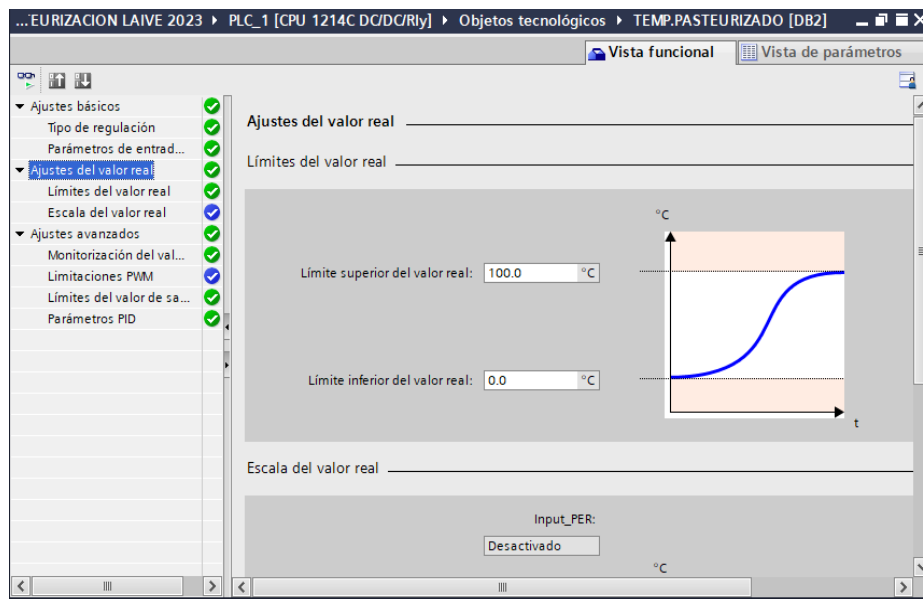
En la opción ajustes básicos se configuran los parámetros de entrada/salida, tal como se aprecia en la figura 76.

Figura 76*Configuración de la entrada y salida*

Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

En ajustes de valor real, configuramos los límites del valor real como límite inferior en 0 y límite superior 100, ver figura 77.

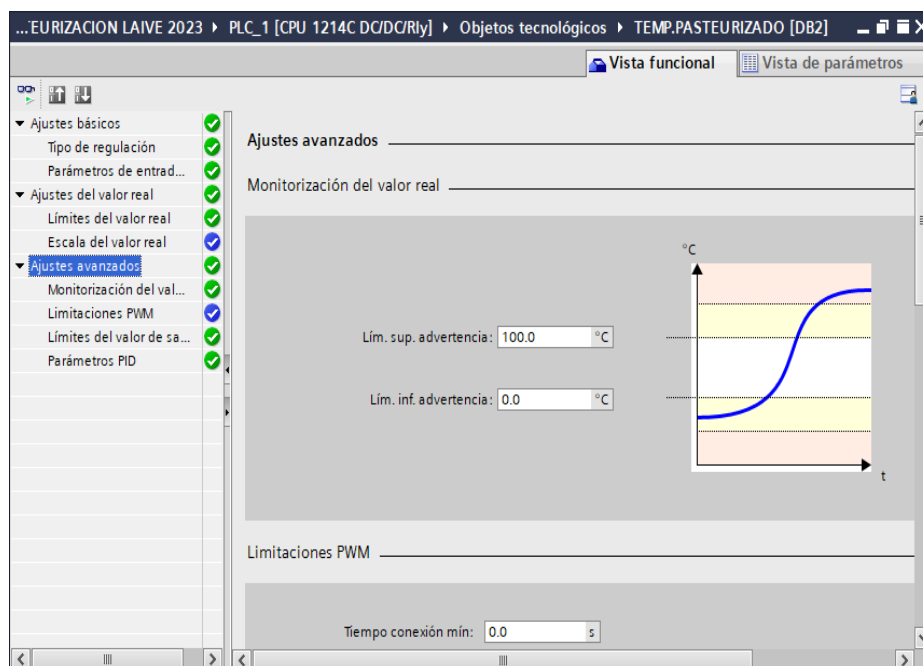
Figura 77
Configuración de límites



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

En ajustes avanzados, configuramos la monitorización del valor real en un valor mínimo 0 y valor máximo 100, ver la figura 78.

Figura 78
Configuración de monitorización

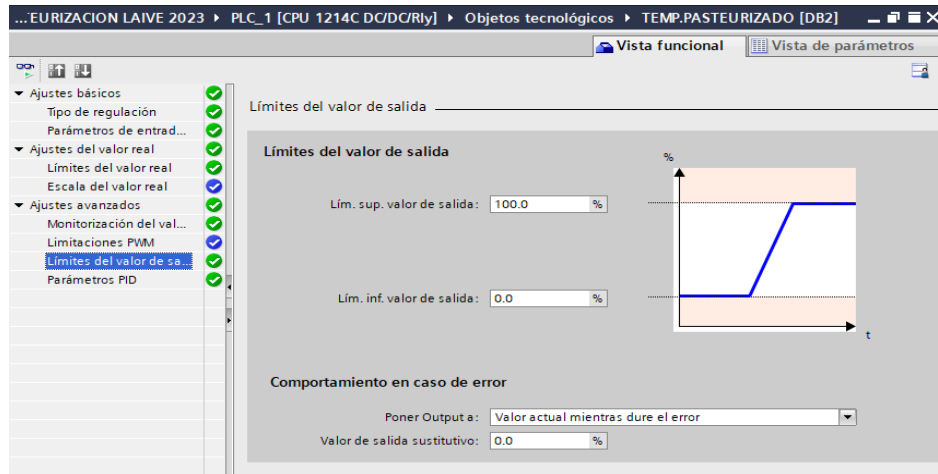


Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Configuramos los límites de valor de salida como valor mínimo 0% y valor máximo 100%, ver la figura 79.

Figura 79

Configuración de los límites de salida



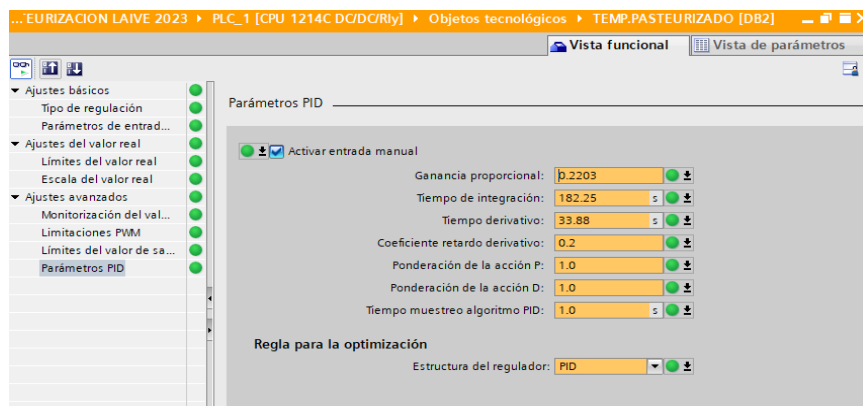
Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16

En la opción parámetros PID, colocamos los parámetros PID obtenidos por la función de transferencia, tal como se observa en la figura 80.

$$Kc = 0,2203 \quad Ti = 182,25 \text{ s} \quad Td = 33,88 \text{ s}$$

Figura 80

Configuración de los parámetros PID

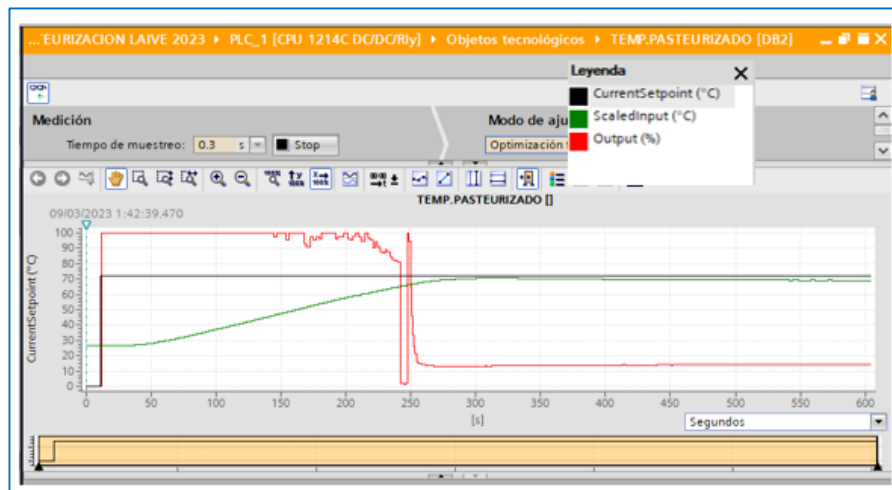


Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Para poder visualizar las respuestas del proceso se habilitó la opción puesta en servicio. En la figura 81 se visualiza la línea verde en este caso el valor del proceso demora demasiado tiempo en llegar al set point y así poder estar estable (línea de color negro).

Figura 81

Respuesta con los parámetros de la función de transferencia

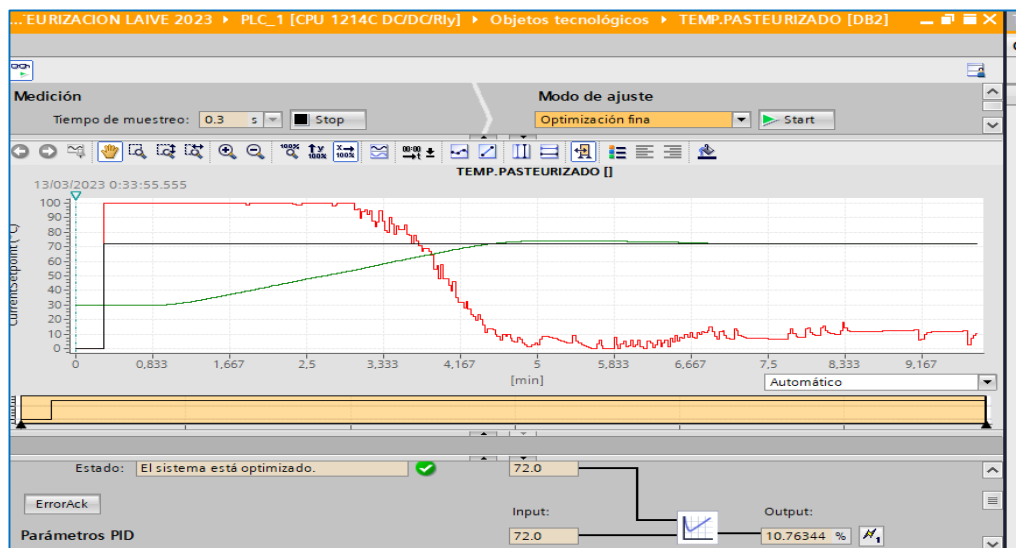


Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Al tener valores predeterminados de los parámetros PID, se pudo optimizar la respuesta realizando pruebas como la manipulación de los parámetros PID. La plataforma TIA PORTAL V16 permitió realizar una optimización de los parámetros del PID, ver figura 82.

Figura 82

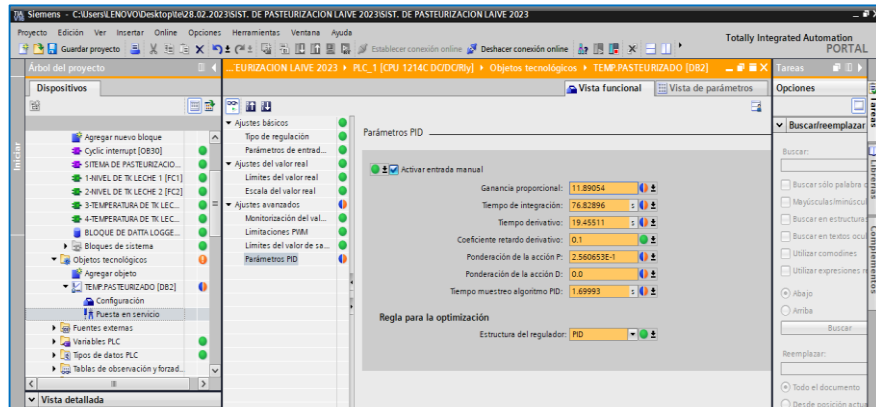
Optimización fina



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Se realizó una optimización inicial fina y se obtuvo los parámetros que se muestran en la figura 83.

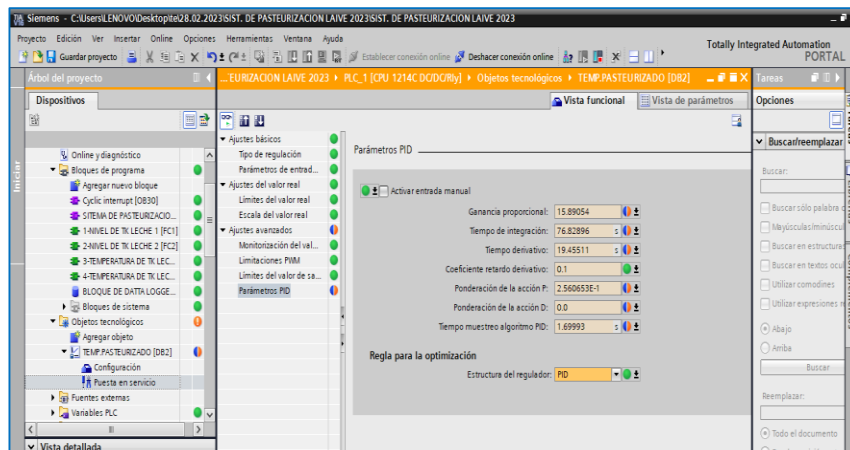
Figura 83
Parámetros PID obtenidos con la optimización fina



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

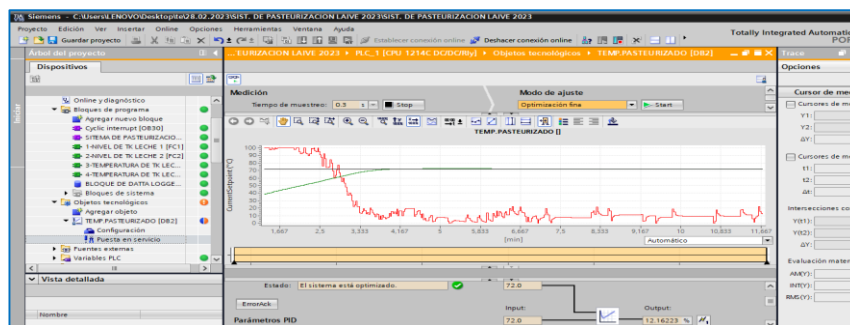
Se procedió a realizar un ajuste manual. En este caso se modificaron los valores de $K_c = 11.89054$ a $K_c = 15.89054$, ver las figuras 84 y 85

Figura 84
Parámetros PID modificados



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

Figura 85
Parámetros PID modificados para la estabilidad del proceso



Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

La tabla 13, muestra las variables del Proyecto.

Tabla 13

Variables del proyecto

Nombre	tabla de variable	tipo de datos	direccion
ST_TK1	Tabla de variables estándar	Int	%IW96
INDICADOR V PROCESO	Tabla de variables estándar	Real	%MD2
ST_STPAST	Tabla de variables estándar	Word	%IW98
MST_TK1	Tabla de variables estándar	Word	%MW10
MSN_TK1	Tabla de variables estándar	Real	%MD6
MVP_STTK1	Tabla de variables estándar	Real	%MD22
SN_TK1	Tabla de variables estándar	Int	%IW64
MVP_SNTK1	Tabla de variables estándar	Real	%MD14
SALIDAPID_PAST	Tabla de variables estándar	Int	%QW80
SETPOTIN_PAST	Tabla de variables estándar	Real	%MD120
MSN_TK2	Tabla de variables estándar	Real	%MD70
MVP_SNTK2	Tabla de variables estándar	Real	%MD18
MST_TK2	Tabla de variables estándar	Word	%MW12
MVP_STTK2	Tabla de variables estándar	Real	%MD64
M1ST_TK1	Tabla de variables estándar	Real	%MD34
M1ST_TK2	Tabla de variables estándar	Real	%MD38
MST_PAST	Tabla de variables estándar	Real	%MD26
MST_PAST(1)	Tabla de variables estándar	Int	%MW14
M1ST_PAST	Tabla de variables estándar	Real	%MD42
MVP_STPAST	Tabla de variables estándar	Real	%MD46
MSALIDAPID_PAST	Tabla de variables estándar	Real	%MD50
MANUAL_PID	Tabla de variables estándar	Bool	%M4.2
VALORMANUAL_PID	Tabla de variables estándar	Real	%MD54
MPATEURIZADO	Tabla de variables estándar	Real	%MD60
ON_MOTORTK1	Tabla de variables estándar	Bool	%M2.1
MOTOR_TK1	Tabla de variables estándar	Bool	%M2.2
STOP_MOTORTK1	Tabla de variables estándar	Bool	%M2.3
ON_MOTORTK2	Tabla de variables estándar	Bool	%M2.4
MOTOR_TK2	Tabla de variables estándar	Bool	%M2.5
STOP_MOTORTK2	Tabla de variables estándar	Bool	%M2.6
MCANTIDADLECHETK1	Tabla de variables estándar	Bool	%M2.7
ON_PASTEURIZADO	Tabla de variables estándar	Bool	%M3.1
BIT_TK1	Tabla de variables estándar	Bool	%M3.2
VALV2_POS1	Tabla de variables estándar	Bool	%M3.3
SFLUJO_1	Tabla de variables estándar	Bool	%M3.4
BOMBA_DESCLECHE	Tabla de variables estándar	Bool	%M3.5
BIT_TK2	Tabla de variables estándar	Bool	%M3.6
VALV2_POS2	Tabla de variables estándar	Bool	%M4.3
VALV1	Tabla de variables estándar	Bool	%M4.4
VALV3	Tabla de variables estándar	Bool	%M4.5
BOMBALECHE_P1	Tabla de variables estándar	Bool	%M4.6
SFLUJO_2	Tabla de variables estándar	Bool	%M4.7
INICIO_PASTEURIZADO	Tabla de variables estándar	Bool	%M5.1
VALV4_POS1	Tabla de variables estándar	Bool	%M5.2
M1VP_STPAST	Tabla de variables estándar	Real	%MD100
VALV4_POS2	Tabla de variables estándar	Bool	%M5.3
Tag_3	Tabla de variables estándar	Bool	%M5.4
VALV5-AGUA	Tabla de variables estándar	Bool	%M5.5
VALV6-VAPOR	Tabla de variables estándar	Bool	%M5.6
BOMBAAGUA	Tabla de variables estándar	Bool	%M5.7
System_Byte	Tabla de variables estándar	Byte	%MB1
FirstScan	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.0
DiagStatusUpdate	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.1
AlwaysTRUE	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.2
AlwaysFALSE	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.3
Clock_Byte	Tabla de variables estándar	Byte	%MB0
Clock_10Hz	Tabla de variables estándar	Bool	%M0.0
Clock_5Hz	Tabla de variables estándar	Bool	%M0.1
Clock_2.5Hz	Tabla de variables estándar	Bool	%M0.2
Clock_2Hz	Tabla de variables estándar	Bool	%M0.3
Clock_1.25Hz	Tabla de variables estándar	Bool	%M0.4
Clock_1Hz	Tabla de variables estándar	Bool	%M0.5
Clock_0.625Hz	Tabla de variables estándar	Bool	%M0.6
Clock_0.5Hz	Tabla de variables estándar	Bool	%M0.7
CREAR_ARCHIVO	Tabla de variables estándar	Bool	%M80.1
ARCHIVO CREADO	Tabla de variables estándar	Bool	%M80.2
SENSOR DE NIVEL TINAS QUES	Tabla de variables estándar	Bool	%I0.1
TINA QUESERA LLENA	Tabla de variables estándar	Bool	%M80.3
STOP PASTEURIZADO	Tabla de variables estándar	Bool	%M80.0
M1VP_SNTK1	Tabla de variables estándar	Real	%MD110
PULS_INICIO	Tabla de variables estándar	Bool	%M80.4
PULS_STOP	Tabla de variables estándar	Bool	%M80.5
M1_CAUDAL	Tabla de variables estándar	Real	%MD124
M2_CAUDAL	Tabla de variables estándar	Real	%MD128
M3_CAUDAL	Tabla de variables estándar	Real	%MD132
M4_CAUDAL	Tabla de variables estándar	Real	%MD136
M5_CAUDAL	Tabla de variables estándar	Real	%MD140

Nota. Obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16.

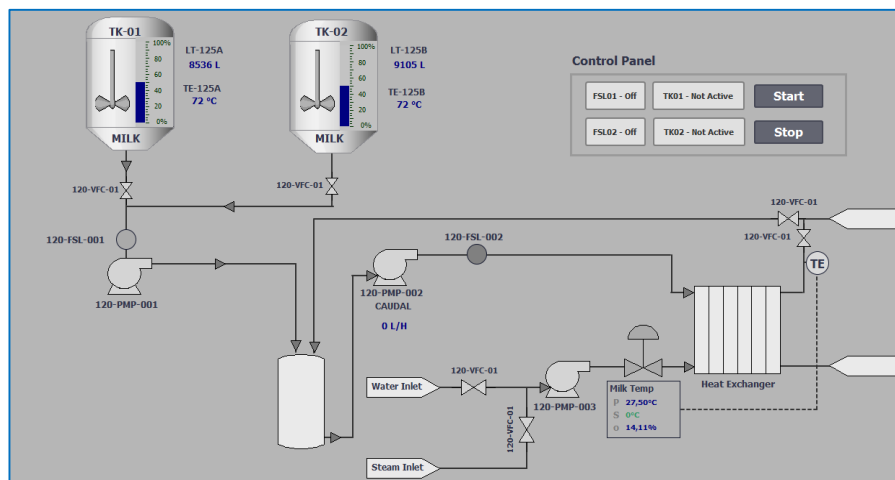
3.6.3.9 Programación en Wincc para la simulación de la línea de pasteurizado

El software Simatic Wincc se emplea en la visualización de tareas en dispositivos empleados en procesos industriales. En nuestro caso se empleó en la pantalla HMI de la línea de pasteurizado.

La figura 86 muestra la simulación de la línea de pasteurización de la leche (over view), visualizado en la pantalla HMI.

Figura 86

Línea de pasteurización

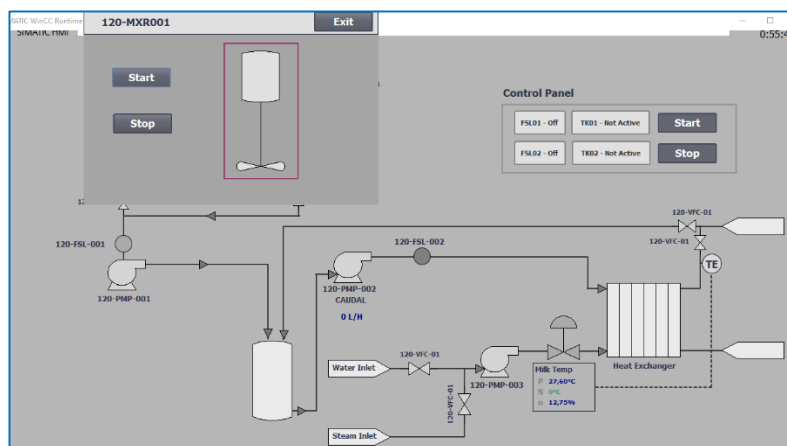


Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

La figura 87 muestra una imagen emergente donde se controló los agitadores de los tanques de almacenamiento.

Figura 87

Control de agitadores

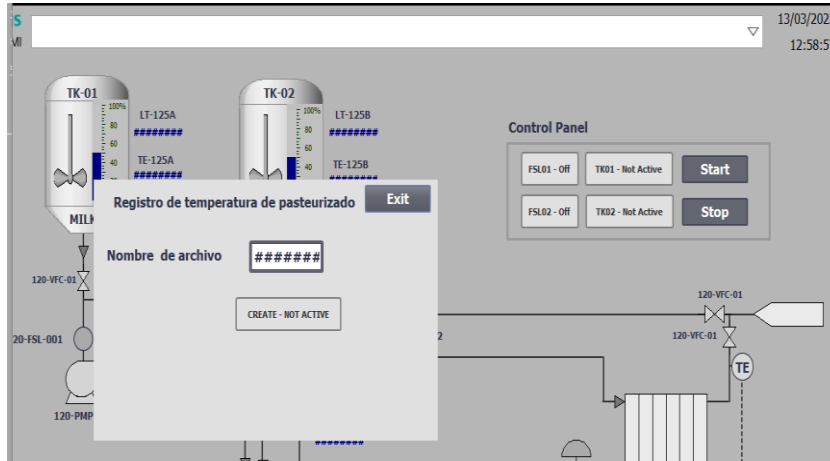


Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

La figura 88 es una imagen emergente donde se registró el nombre del archivo que se va a crear en el data logger.

Figura 88

Registro del nombre del archivo

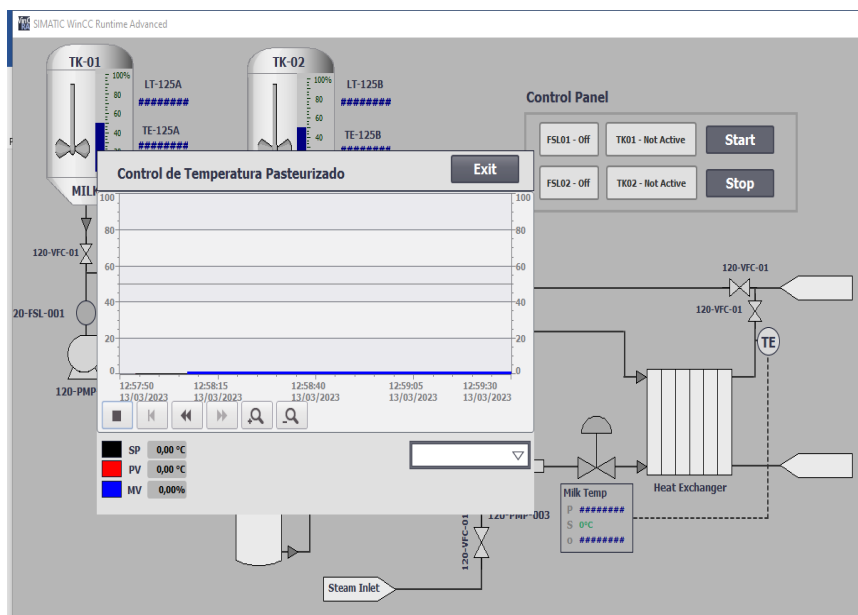


Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

La figura 89 es una imagen emergente donde se visualizó la curva que genera la variable del proceso vs el set point.

Figura 89

Curva que genera la variable de proceso vs el set point.



Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

3.7 Procesamiento y análisis de datos

El tratamiento de información en la investigación fue llevado a cabo mediante una serie de actividades planificadas, cuyo objetivo fue organizar y estructurar los datos individuales con el fin de dar respuesta al problema de investigación, alcanzar los objetivos planteados y comprobar las hipótesis formuladas.

Después de examinar los resultados de la simulación del sistema de control PID y de todas las etapas involucradas en la línea de pasteurizado, se explicaron los efectos que se producen como resultado de la metodología empleada y se procedió a interpretar los resultados obtenidos. Se evaluaron las hipótesis planteadas mediante el análisis de los datos recopilados de cada etapa en la zona de estudio. Como se trata de una investigación aplicada, no se requirió la validación de las hipótesis mediante métodos estadísticos.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados

De acuerdo al objetivo general se diseñó y simuló un sistema de control para automatizar la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE.

En la tabla 14, se presentaron los requerimientos necesarios para la automatización de la línea de pasteurizado de la planta lechera LAIVE

Tabla 14

Etapas del pasteurizado

1. Medición del nivel de leche y control de agitadores de tanque 1-2.	<p>Visualización del nivel de leche de cada tanque de almacenamiento desde una pantalla HMI.</p> <p>Control de los agitadores de cada tanque desde una pantalla HMI.</p>
2. Medición de temperatura de leche tanque 1-2.	<p>Visualización de la temperatura de leche de cada tanque de almacenamiento desde una pantalla HMI.</p>
3. Pasteurización de Leche.	<p>Control de la temperatura de la línea de pasteurizado desde una pantalla HMI.</p> <p>Control automático de las válvulas y bombas desde una pantalla HMI.</p> <p>Registro de la temperatura de la línea de pasteurizado desde una pantalla HMI.</p>
4. Caudal de salida de producto.	<p>Control del caudal de forma automática</p>

Para simular la línea de pasteurizado de la leche, se implementó a escala una maqueta donde se incrementó la temperatura de la leche en un pequeño tanque de 1 L empleando una resistencia eléctrica. Para el censo de la variación de la temperatura se empleó un sensor de temperatura PT100.

La figura 90 muestran la maqueta y los dispositivos empleados para la simulación del proceso de la línea de pasteurizado de la leche.

Figura 90

Maqueta empleada en la simulación del proceso



La figura 91 muestra la conexión de los dispositivos empleados para la simulación.

Figura 91

Conexión de los dispositivos empleados en la simulación del proceso



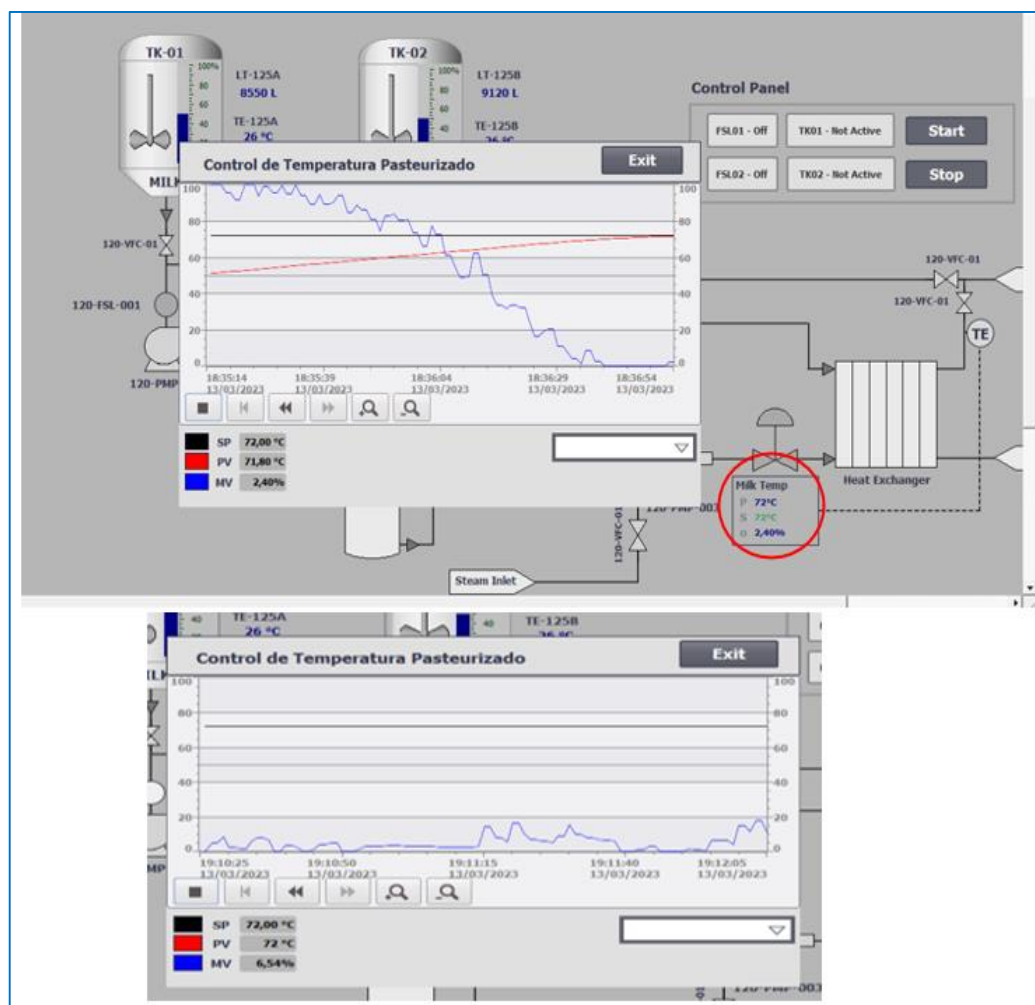
En la interfaz de la HMI se pudo observar la estabilización del valor del proceso, representado por la señal de la línea roja en relación con el set point de la línea negra. En este caso, se ingresó el set point de 72°C, que está dentro del rango de pasteurización de leche que se utiliza en la empresa.

Es importante destacar que antes de alcanzar una condición estable en la variable de proceso, se necesitó calcular la función de transferencia y obtener los valores de los parámetros PID.

Con estos parámetros, se procedió a realizar una optimización fina, donde se realizaron pruebas de modificación de los valores de los parámetros PID hasta alcanzar un comportamiento estable de la variable de proceso. La figura 92 muestra la estabilidad de la variable de proceso durante la pasteurización, específicamente la temperatura de pasteurizado se mantuvo constante en un valor estable.

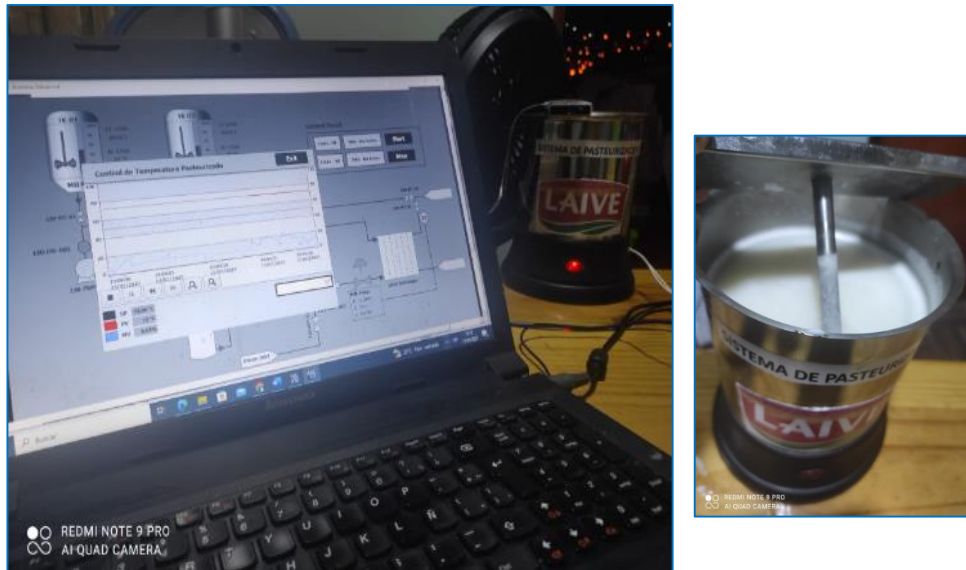
Figura 92

Estabilidad de la variable del proceso



Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

La figura 93 ilustra el proceso de pasteurización de la leche a una temperatura de 72°C, y también muestra el comportamiento estable de la variable de proceso, en este caso la temperatura de pasteurización.

Figura 93*Proceso de pasteurización*

Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

Luego de las pruebas de optimización de los parámetros del controlador PID, se obtuvieron los valores óptimos los cuales se encuentran en la tabla 15.

Tabla 15*Parámetros PID*

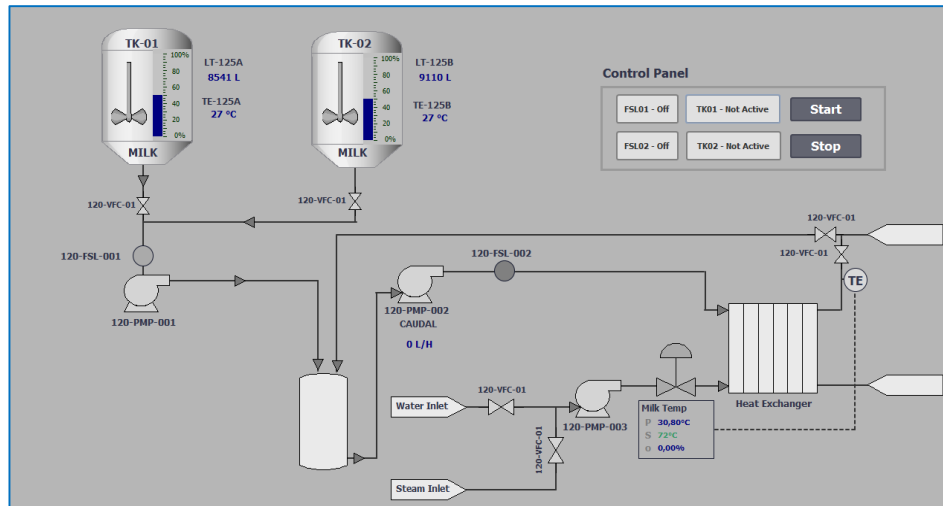
Ganancia proporcional	15,89054
Tiempo de integración	76,82896 s
Tiempo derivativo	19,45511 s
Coefficiente retardado derivativo	0,1
Ponderación de acción	2,560653E-1
Ponderación de la acción	0,0
Tiempo muestreo algoritmo PID	1,9993

Para simular el funcionamiento de las válvulas y bombas, se creó un gráfico en la pantalla principal de la interfaz. Para utilizarlo, se presionó un botón de encendido o inicio y luego seleccionó el tanque de almacenamiento con el que desea trabajar, lo cual dependió de la información que tenga disponible. Una vez que se activó la válvula correspondiente al tanque seleccionado, la leche comenzó a fluir por la línea y se activaron los interruptores de flujo. Dado que se trata de una simulación, los

interruptores de flujo se activaron manualmente para que las bombas y válvulas necesarias para el proceso se activen automáticamente. Ver figura 94.

Figura 94

Muestra de la línea de pasteurizado en stop

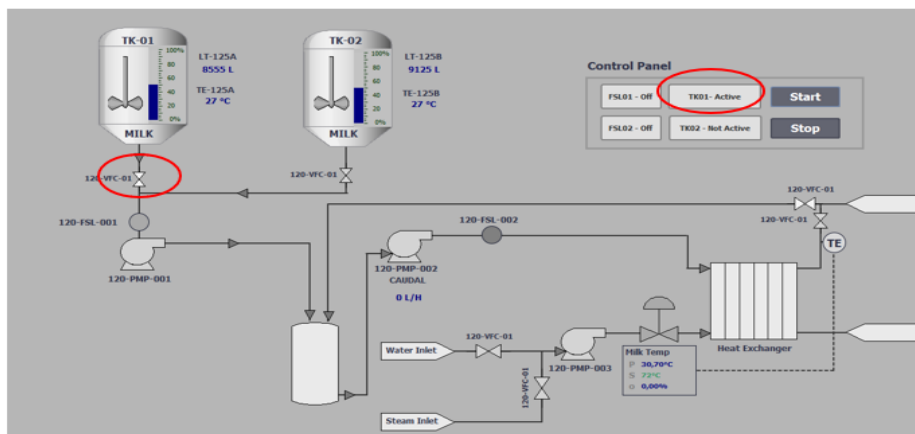


Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

La figura 95 muestra la selección del tanque 01 para iniciar el pasteurizado, es por ello que se activó la válvula. Para identificarlo se marcó de color rojo.

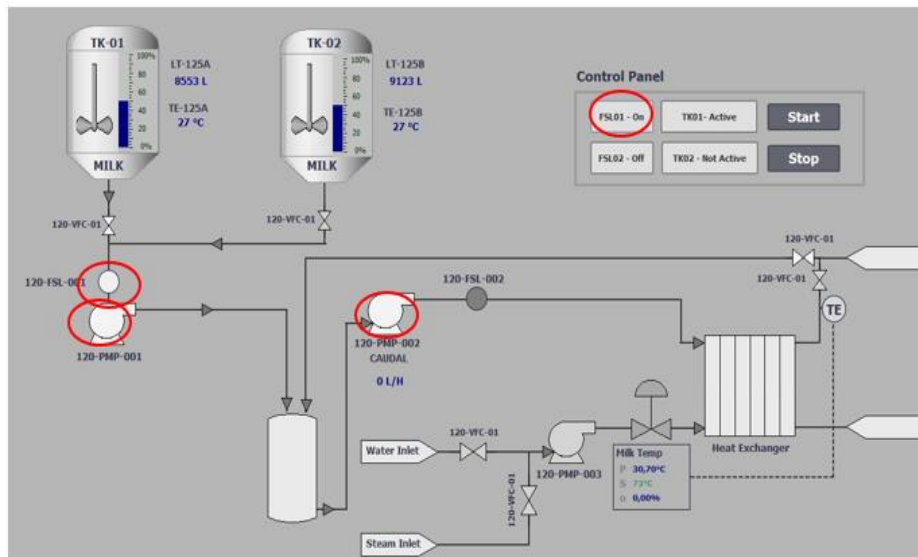
Figura 95

Selección de tanque 01



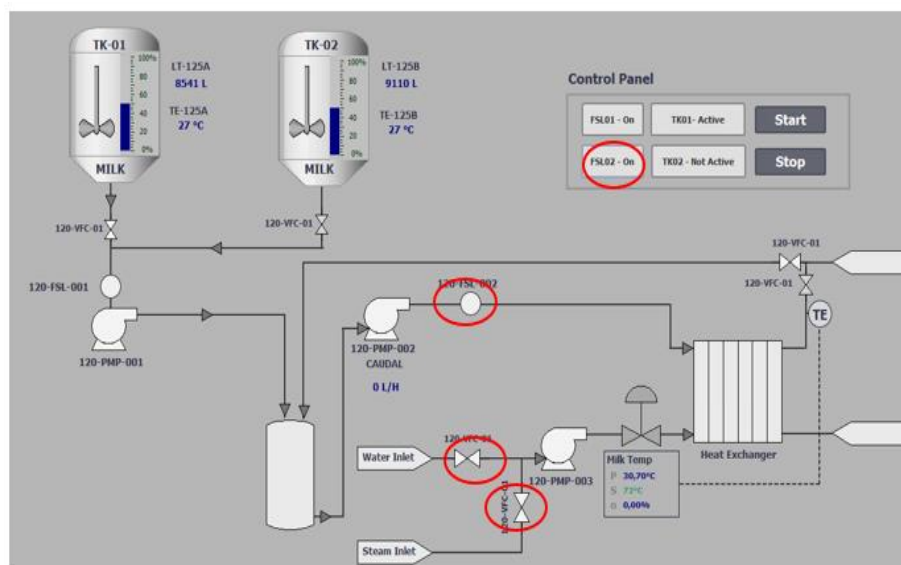
Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

La figura 96 muestra donde se procedió a activar manualmente el interruptor de flujo N°1 para que se pueda prender automáticamente la bomba de descarga y de leche. Para identificar se marca de color rojo.

Figura 96*Activación de interruptor N°1*

Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

Las figuras 97 muestra la activación manual del interruptor de flujo N°2. Para identificarlos se marca de color rojo

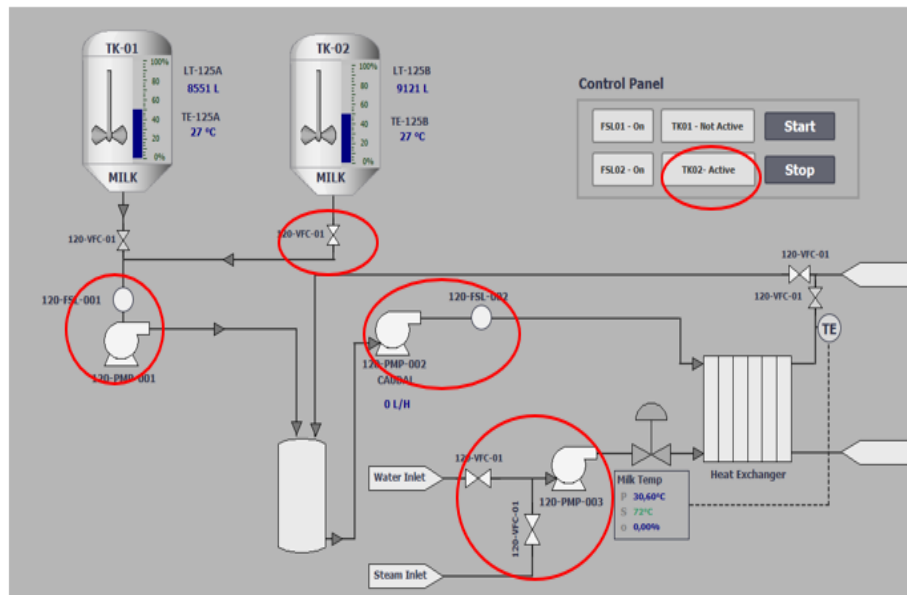
Figura 97*Activación de interruptor N°2*

Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

La figura 98 muestra la habilitación automática de la bomba de agua y las válvulas de agua y vapor. Para identificarlos se marca de color rojo.

Figura 98

Habilitación de válvulas y bombas del tanque 02



Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

Para simular el funcionamiento de los agitadores de los tanques 1-2, se tuvo que abrir las pantallas emergentes donde aparece el start y stop de cada agitador. La figura 99 muestra el encendido y apagado del agitador 1.

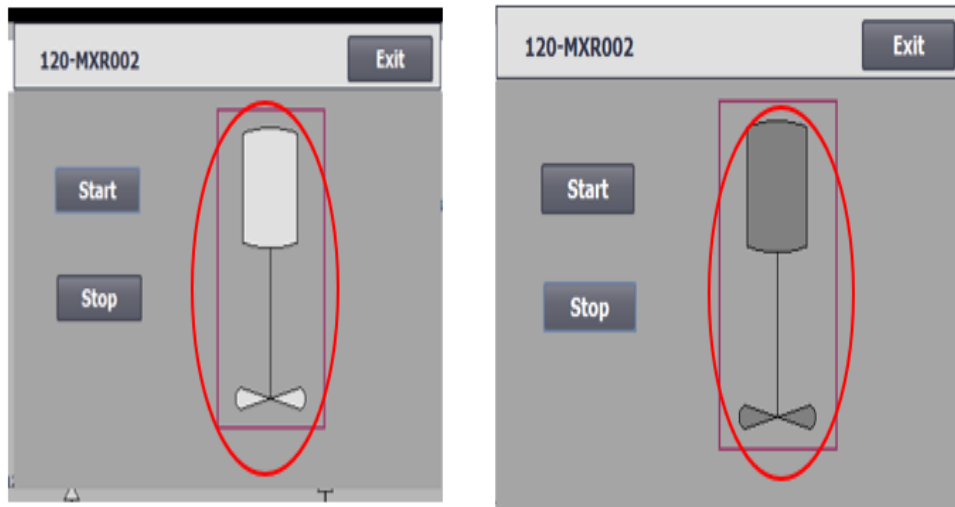
Figura 99

Encendido y apagado del agitador 1



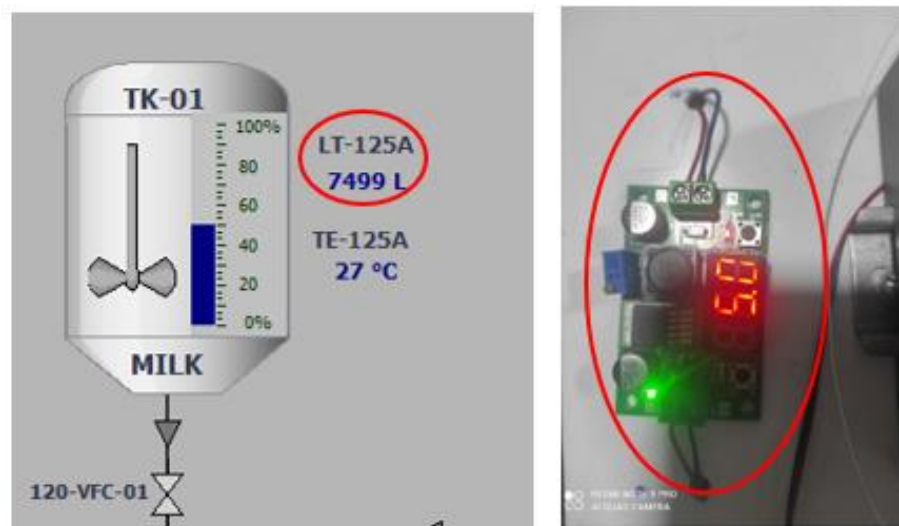
Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

La figura 100 muestra el encendido y apagado del agitador 2.

Figura 100*Encendido y apagado del agitador 2*

Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

Para simular los sensores de nivel se ingresó al PLC un voltaje de 5 V. En este caso, el tanque 01 tiene como valor máximo 15000 L y al ingresar 5 V este marcó un aproximado de 7500 L, ver figura 101.

Figura 101*Visualización del nivel del tanque 1*

Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

Lo mismo sucedió en el tanque 02 que tiene como valor máximo 16000 L y al ingresar 10 V este marcó un aproximado de 16000 L. El sensor de nivel estuvo configurado para enviar un voltaje mínimo de 0 V y máximo de 10 V, ver figura 102.

Figura 102

Visualización del nivel del tanque 2



Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

Para simular los sensores de temperatura de los tanques de leche se conectó un sensor PT100 al PLC. Se utilizó un vaso lleno de leche con diferentes temperaturas para cada tanque, donde el tanque 01 estuvo midiendo 50 °C, ver figura 103. La temperatura del tanque 02 estuvo midiendo 65 °C, ver figura 104.

Figura 103

Visualización de la temperatura de la leche del tanque 1



Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

Figura 104

Visualización de la temperatura de la leche del tanque 2

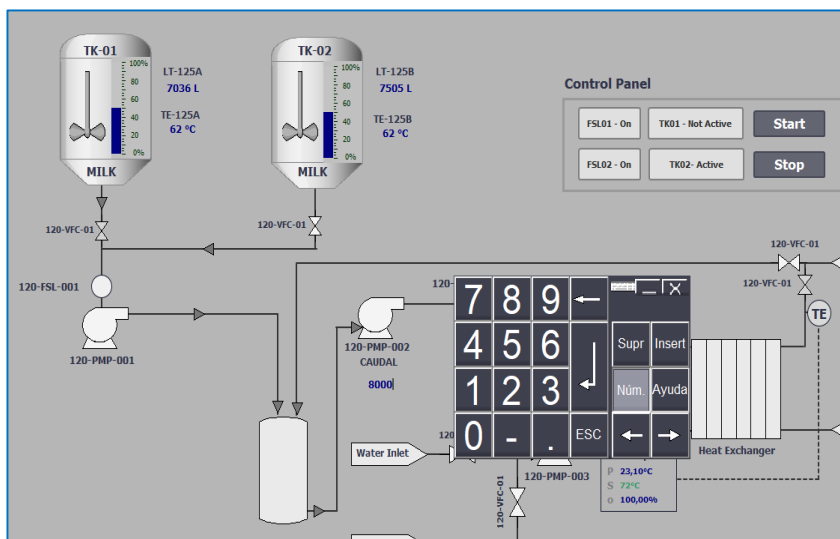


Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

Para simular el control de caudal de la bomba, ver figura 105, se ingresó el valor deseado, que en este caso fue de 8000 L/h. Este valor siempre se mantuvo fijo; además, como se sabe que el variador de velocidad tiene una entrada de 0 -10 Vdc se visualiza en el escalamiento el valor de 8000 L/h.

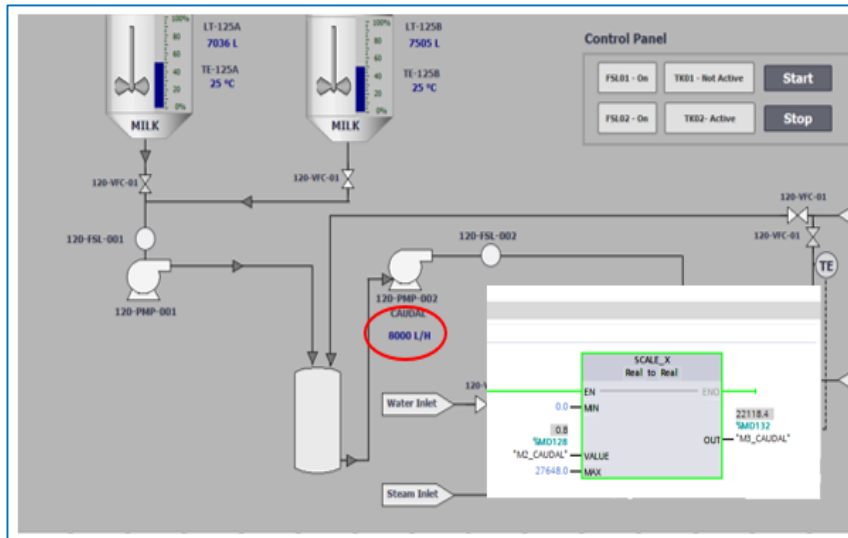
Figura 105

Ingreso del caudal de 8000 L/h



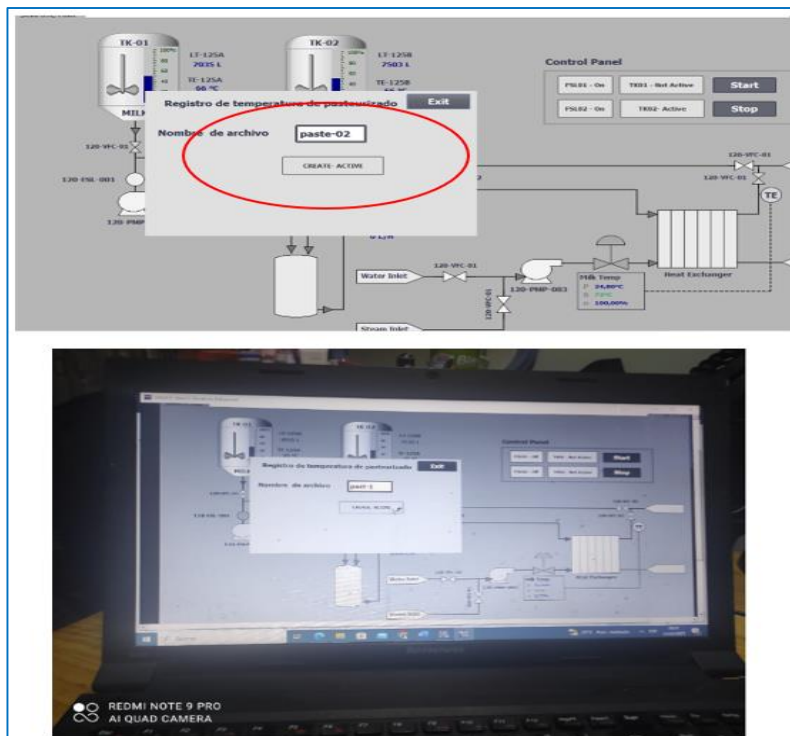
Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

La figura 106 muestra la visualización de la conversión de caudal a voltaje el cual será enviado al variador de velocidad. Esta calibración cuando se realice en planta será necesario apoyarnos del indicador de caudal analógico que tiene la planta, pues este está calibrado solo y bueno en ese momento sabremos en site que voltaje es el adecuado para un caudal de 8000 L/h.

Figura 106*Conversión de caudal a voltaje*

Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

Para el registro de temperatura se habilitó una pantalla emergente donde se colocó el nombre del archivo que se va a crear y se selecciona la opción crear archivo. Ver figura 107.

Figura 107*Pantalla emergente para crear el archivo en Excel*

Nota. Programación del software Wincc en la pantalla HMI.

Después de la creación del archivo, se procedió a acceder al servidor web de Siemens y se introdujo la dirección IP del PLC. Posteriormente, se buscó el nombre del archivo recién creado en el navegador de archivos en la dirección IP 192.168.0.1, ver figura 108.

Figura 108

Servidor web de Siemens.



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying "192.168.0.1/Portal/Portal.mwsl?". The page title is "SIEMENS S7-1200 station_1 / PLC_1". Below the title, there is a login section with a "Nombre de usuario" input field and an "Iniciar" button. To the right, under the heading "Registros de datos", there is a table with two columns: "Nombre" and "Tamaño". The table contains one entry: "past-1.csv" with a size of "48599". On the left side of the page, there is a navigation menu with several options, including "Registros de datos" which is highlighted in blue.

Nombre	Tamaño
past-1.csv	48599

Nota. Imagen obtenida de la plataforma TÍA PORTAL V16

Una vez localizado el archivo, se procedió a descargarlo y esto generó un archivo de Excel que contiene los valores de temperatura registrados durante el proceso de pasteurización, tal como se aprecia en la figura 109.

Figura 109

Documento en Excel generado por el data logger

	A	B	C	D	E
1	Record	Date	UTC Time		
2		1 14.03.2022	0:11:40	72.00	
3		2 14.03.2023	0:11:40	72.00	
4		3 14.03.2024	0:11:41	72.00	
5		4 14.03.2025	0:11:42	72.00	
6		5 14.03.2026	0:11:43	72.00	
7		6 14.03.2027	0:11:44	72.00	
8		7 14.03.2028	0:11:45	72.00	
9		8 14.03.2029	0:11:46	72.00	
10		9 14.03.2030	0:11:47	72.00	
11		10 14.03.2031	0:11:48	72.00	
12		11 14.03.2032	0:11:49	72.00	
13		12 14.03.2033	0:11:50	72.00	
14		13 14.03.2034	0:11:51	72.00	
15		14 14.03.2035	0:11:52	72.00	
16		15 14.03.2036	0:11:53	72.00	
17		16 14.03.2037	0:11:54	72.00	
18		17 14.03.2038	0:11:55	72.00	
19		18 14.03.2039	0:11:56	72.00	
20		19 14.03.2040	0:11:57	72.00	
21		20 14.03.2041	0:11:58	72.00	
22		21 14.03.2042	0:11:59	72.00	
23		22 14.03.2043	0:12:00	72.00	

Nota. Información generada por el data logger

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

De acuerdo con la tesis titulada "Automatización y Monitoreo de una Planta de Pasteurizado de Leche" presentada en 2015, se desarrolló un sistema de control y supervisión para la planta de pasteurización utilizando un PLC y un programa SCADA. En la tesis se diseñó y programó el sistema de pasteurización, centrándose únicamente en el control PID como etapa principal, mientras se dejaron sin considerar otras variables que podrían ser controladas automáticamente.

Comparando nuestro diseño y simulación de la línea de pasteurizado podemos destacar que nuestro enfoque es más completo. Nuestra solución incluye todas las facilidades necesarias para que el operador de turno pueda pasteurizar la leche de manera eficiente.

En nuestro diseño, hemos incorporado todos los elementos esenciales y características adecuadas para el correcto funcionamiento de la línea de pasteurizado. Esto implica la elaboración de diagramas de equipos y diagramas de flujo para el programa.

En la simulación, hemos presentado cómo obtener los datos de la línea de pasteurizado en base a su función de transferencia. De esta manera, se logra una mejor sintonización al momento de controlar el pasteurizado de la leche.

Las facilidades que nuestro diseño ofrece al operador incluyen la posibilidad de controlar todo desde la pantalla HMI, lo que reduce el desplazamiento del operador. Además, se reduce el riesgo de accidentes ya que el operario ya no se trasladará por lugares con altura o presencia de tuberías de vapor. Por último, el uso del PLC Siemens 1200 permite que el operador tenga un mayor control del proceso de pasteurizado.

CONCLUSIONES

Se diseñó y simuló el sistema de control para automatizar la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE, utilizando PLC Siemens S7-1200, el cual fue de bastante ayuda al momento de desarrollar el proceso de pasteurización.

Se logró identificar cada una de las etapas que conforman el proceso de pasteurización y se escogieron los dispositivos y equipos electrónicos necesarios para el diseño de un sistema de control adecuado.

Los parámetros del control PID, que se obtuvieron a través del uso de la función de transferencia y el software TIA PORTAL, así como el método de auto sintonización con optimización fina, fueron de gran ayuda en la creación de un sistema de control estable y eficaz.

La implementación de este sistema de control automatizado permitió optimizar los tiempos al contar con todo el control en un solo panel. Además, al automatizar los procesos se logró un aumento en la velocidad y precisión de las operaciones. La trazabilidad mejoró gracias al registro de las temperaturas que se almacenaron en un servidor web, mientras que al reducir la intervención del hombre el riesgo de accidentes disminuyó.

Con el software WinCC, se pudo supervisar y controlar eficientemente toda la línea de pasteurización de leche. La interfaz de usuario fue diseñada para lograr un alto rendimiento y al mismo tiempo, ser amigable para los que operamos el sistema de control.

RECOMENDACIONES

Dado que la presente tesis fue desarrollada en simulación, el software TIA PORTAL ofrece una serie de mejoras y ajustes que se pueden implementar mediante el uso de instrucciones básicas y avanzadas. Algunas de estas mejoras incluyen:

- a) Añadir una pantalla en la interfaz gráfica en donde solo pueda acceder personal técnico calificado donde se pueda realizar una modificación de los parámetros PID así también como una sintonización fina.

- b) Sería posible mejorar el registro de la temperatura de pasteurización mediante el uso de una base de datos, lo que permitiría generar una gráfica en tiempo real sin tener que acceder al servidor web de Siemens.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIAN. (s.f.). *Venta de accesorios de instrumentación*. Obtenido de Sensor de temperatura pt100: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
- AUTOMAQ. (2022). *Venta de instrumentos*. Obtenido de Producto PT100.
- Brunete, A., San Segundo, P., & Herrero, R. (2020). *Introducción a la Automatización Industrial*. https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/. Obtenido de https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/
- BURKERT. (1977). *Control de fluido*. Obtenido de Dat sheet de valvula DS8693: <https://www.burkert.com/en/media/plm/dts/ds/ds8693-standard-es-es.pdf?id=dts00000000000000001000551314es->
- ELECTRONICS, D. (2007). *Control industrial*. Obtenido de Manual de usuario: https://www.webddigital.com/fabricantes/delta/pdf/motion/VFD-E_manual_sp.pdf
- EMAC. (2021). *Venta de productos de control*. Obtenido de Módulos de expansión PLC: <https://emacstores.com/modulos-de-expansion-plc/>
- Eudim, E. u. (s.f.). *Universidad de TARAPACÁ*. Obtenido de http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf
- Francois Dulhoste, J. (s.f.). *Introducción al control de prodesos para ingenieros*. Universidad de los Andes.
- Generales, E. (2018). *Venta de componentes electricos*. Obtenido de Productos: <https://www.electricosgenerales.com.pe/product/caja-para-arrancador-directo-le1-d18-c/>
- GHIDINI, 4. (2023). *Fabricante de válvulas*. Obtenido de Catalogo de válvulas: <https://www.4gghidini.it/es/valvula-de-bola-2-vias/103027-junta-estandar-m-m-din-11851/>
- GRM. (s.f.). *Valvulas e instrumentos*. Obtenido de Catologo de sensor de temperatura: <https://www.grm.com.es/wp-content/uploads/2021/11/PT100.pdf>
- Guaraca Pinto, E. C., & Guaraca Siguencia, L. A. (2019). *Planta de lácteos viglac*. Universidad de Cuenca.

- INPROCESS. (s.f.). *catologo*. Obtenido de Data sheet sensor de nivel:
<https://www.inprocess.com.pe/datasheets/presion/transmisores/Danfoss/Danfoss-MBS4510.pdf>
- INTRIAL. (2019). *Equipos industriales*. Obtenido de Interuptor de flujo:
<https://intrial.com.pe/producto/productos/automatizacion-industrial/nivel/otros-nivel/interruptor-de-flujo-ifp-1-intrial-interruptor-de-flujo-ifp-1-intrial-marca-intrial/>
- Laval, A. (2015). *venta de productos electricos*. Obtenido de venta de bombas:
<https://www.alfalaval.com.co/productos-y-soluciones/manejo-de-fluidos/bombas/campana-bombas-centrifugas/>
- SIEMENS. (2014). *Manual de sistemas Controlador programable S7 - 1200*.
- SIEMENS. (s.f.). *Produstos SIEMENS*. Obtenido de Data sheet HMI:
https://media.automation24.com/datasheet/es/6AV21240QC020AX1_es.pdf
- Tipán Quispe, M. L., & Flores Santo, D. A. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo de pasteurizadora para el procesamiento de 50 litros de leche/hora*. universidad politécnica salesiana.
- Wade, B. H. (2017). *Basic and advanced*. ISA. Obtenido de app.knovel

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Variable de estudio	Indicadores	Metodología
<p align="center">Problema general</p> <p>¿Con el diseño y simulación de un sistema de control se logrará automatizar la línea de pasteurización de leche planta lechera Laive – Arequipa?</p>	<p align="center">Objetivo general</p> <p>Diseñar y simular un sistema de control para automatizar la línea de pasteurización de la planta lechera LAIVE.</p>	<p align="center">Variable de estudio</p> <p>Sistema de control para automatizar la línea de pasteurización de la Planta Lechera Laive - Arequipa.</p>	<p align="center">Indicadores de la variable de estudio</p> <p>Nivel de la leche en los tanques 1 y 2 de almacenamiento.</p> <p>Temperatura de la leche en los tanques 1 y 2 de almacenamiento.</p> <p>Temperatura de la leche en la línea de pasteurizado.</p> <p>Caudal de salida del producto.</p>	<p align="center">Tipo de investigación</p> <p>Investigación aplicada.</p> <p align="center">Tipo de investigación</p> <p>Cuantitativa descriptiva</p>
<p align="center">Problemas específicos</p> <p>¿Qué dispositivos son los más adecuado para el diseño de la automatización de la línea de pasteurización de leche?</p> <p>¿Qué software son los más adecuado para el diseño de la automatización de la línea de pasteurización de leche?</p> <p>¿Qué variables se deben tomar para el diseño y simulación de la línea de pasteurización de leche?</p>	<p align="center">Objetivos específicos</p> <p>Seleccionar los dispositivos y equipos electrónicos requeridos en el diseño de un sistema de control.</p> <p>Identificar las etapas en que consiste el proceso de pasteurización de la planta lechera.</p> <p>Simular un sistema de control para comprobar el funcionamiento del diseño propuesto.</p>			<p align="center">Diseño de la investigación</p> <p>No experimental</p>