

Articulo oficial.docx

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:483342437

Fecha de entrega

13 ago 2025, 10:17 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

13 ago 2025, 10:21 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

Articulo oficial.docx

Tamaño de archivo

2.9 MB

32 Páginas

6599 Palabras

37.632 Caracteres

13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 9% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	www.unicomfauca.edu.co	1%
2	Internet	www.coursehero.com	1%
3	Trabajos entregados	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2025-05-14	<1%
4	Internet	hdl.handle.net	<1%
5	Trabajos entregados	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2019-12-26	<1%
6	Internet	patents.google.com	<1%
7	Internet	dokumen.pub	<1%
8	Internet	historia.aeu.es	<1%
9	Internet	es.scribd.com	<1%
10	Publicación	Fabian G. Pierart, Danilo Pastrana, Ernesto Rubio. "Identification of a reduced ord...	<1%
11	Trabajos entregados	Universidad Privada Boliviana on 2023-05-05	<1%

12	Trabajos entregados usach on 2024-09-12	<1%
13	Trabajos entregados Universidad de León on 2023-07-05	<1%
14	Internet www.researchgate.net	<1%
15	Internet pt.scribd.com	<1%
16	Trabajos entregados Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid on 2016-05-27	<1%
17	Trabajos entregados Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2023-05-24	<1%
18	Trabajos entregados Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2024-09-24	<1%
19	Trabajos entregados Universidad de San Buenaventura on 2019-03-27	<1%
20	Trabajos entregados unap on 2024-05-07	<1%
21	Internet www.frontiersin.org	<1%
22	Trabajos entregados Universidad Rey Juan Carlos on 2025-07-10	<1%
23	Internet cybertesis.unmsm.edu.pe	<1%
24	Internet repositorio.unajma.edu.pe	<1%
25	Internet www.bopcadiz.org	<1%

26	Internet	www.thermal-engineering.org	<1%
27	Trabajos entregados	HTM (Haridus- ja Teadusministeerium) on 2023-12-25	<1%
28	Trabajos entregados	Instituto Tecnológico de Costa Rica on 2024-04-11	<1%
29	Trabajos entregados	Universidad Manuela Beltrán on 2023-11-21	<1%
30	Trabajos entregados	Universidad de Pamplona on 2025-05-20	<1%
31	Internet	kamianetslib.blogspot.com	<1%
32	Internet	prezi.com	<1%
33	Internet	www.fdiworldldental.org	<1%
34	Internet	www.florvertical.com	<1%
35	Internet	www.scribd.com	<1%
36	Trabajos entregados	Consortio CIXUG on 2019-02-11	<1%
37	Trabajos entregados	Escuela Politécnica Nacional on 2022-03-08	<1%
38	Trabajos entregados	Patricia Test Account on 2015-10-27	<1%
39	Trabajos entregados	Pontificia Universidad Católica del Perú on 2007-10-30	<1%

40	Trabajos entregados	The University of Manchester on 2010-09-03	<1%
41	Trabajos entregados	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD on 2025-04-11	<1%
42	Trabajos entregados	Universidad Nacional Agraria La Molina on 2025-07-23	<1%
43	Trabajos entregados	Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas on 2025-02-27	<1%
44	Trabajos entregados	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2023-02-09	<1%
45	Trabajos entregados	Universidad Rey Juan Carlos on 2025-07-11	<1%
46	Internet	cybertesis.uach.cl	<1%
47	Internet	eprints.uanl.mx	<1%
48	Internet	es.wikidark.org	<1%
49	Internet	moam.info	<1%
50	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
51	Internet	www.investigarmqr.com	<1%
52	Trabajos entregados		<1%
53	Trabajos entregados	Universidad Rey Juan Carlos on 2022-11-14	<1%

54	Publicación	Daniel Cera-Martínez, Jesús Eduardo Ortiz-Sandoval, Oscar Eduardo Gualdrón-Gu...	<1%
55	Trabajos entregados	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2025-08-11	<1%
56	Trabajos entregados	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2024-06-20	<1%
57	Trabajos entregados	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas on 2022-07-12	<1%

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias



**Automatización y optimización de un pasteurizador de leche de
tubos concéntricos mediante un control PID**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias

Autor:

Erick Joel Egas Crespo
Jhon Edward Huayhua Mamani
Ana Valeria Aldazabal Ballarta

Asesor:

Mtro. José Manuel Prieto

Juliaca, agosto del 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, José Manuel Prieto, docente de la Facultad de Ingeniería y arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**AUTOMATIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN PASTEURIZADOR DE LECHE DE TUBOS CONCÉNTRICOS MEDIANTE UN CONTROL PID**” del (los) autor (autores) (Nombres y apellidos de los autores) tiene un índice de similitud de 12% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca a los 24 días del mes de Julio del año 2025



Mtro. José Manuel Prieto

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 18 día(s) del mes de Julio del año 2025, siendo las 9:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Enrique Mamani Cuello, el (la) secretario(a): Mg. Sc. Carmen Rosa Apaza Hueroj, y los demás miembros: Ing. Joel Terson Goaguiras Quirpe, Ing. Ana Mónica Faras Jimenez, y el (la) asesor(a) Mtro. José Manuel Prieto

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Automatización y optimización de un pasteurizador de leche de tubos concéntricos mediante un control PID

del(los) bachiller/es: a) Erick Joel Egas Crespo, b) Jhon Edward Huayhuo Mamani, c) Ana Valeria Aldazabal Ballanta

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero de Industrias Alimentarias (Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Erick Joel Egas Crespo

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>19</u>	<u>A</u>	<u>Excelente</u>	<u>Excelencia</u>

Bachiller (b): Jhon Edward Huayhuo Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>19</u>	<u>A</u>	<u>Excelente</u>	<u>Excelencia</u>

Bachiller (c): Ana Valeria Aldazabal Ballanta

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

[Firma]
Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

Automatización y optimización de un pasteurizador de leche de tubo concéntrico mediante control PID

RESUMEN: El objetivo de este estudio es automatizar y optimizar el proceso de pasteurización de la leche mediante la implementación de un sistema de control PID en un PLC. Se controlan tres variables fundamentales del proceso: temperatura, caudal y accionamiento de la válvula solenoide. Sobre la base de datos experimentales, filtrado e identificación del sistema, se genera la función de transferencia y se ajustan los valores PID. Finalmente, se evaluó la efectividad del sistema a través de análisis microbiológicos y pruebas de fosfatasa alcalina, demostrando una reducción significativa de la carga microbiana y el cumplimiento de las normas sanitarias. Se concluye que el sistema propuesto mejora la calidad del producto final, reduce los costos operativos y representa un avance en la automatización de procesos térmicos en la industria alimentaria.

Palabras clave: Automatización; Pasteurización; control PID; Identificación de sistemas.

Ejemplos de citas bibliográficas en el manuscrito:

1) Referencia con un solo autor: Oliveira (2020) o (Oliveira, 2020).

2) Referencia con dos autores: Thomaz y Fidalski (2020) o (Thomaz y Fidalski, 2020).

3) Referencia con más de dos autores: Anjos et al. (2022) o (Anjos et al., 2022).

4) Referencia cuyo autor sea una institución/empresa, la cita debe ser su nombre completo o su acrónimo (cuando exista), en mayúsculas: EMBRAPA (2020) o (EMBRAPA, 2020).

5) Referencia con los mismos autores y ser del mismo año: Liu et al. (2020a); Liu et al., 2020b); (Liu et al. (2020a,b).

INTRODUCCIÓN

La leche se define como la secreción mamaria normal de los animales lecheros[1]. La mayor parte de la leche del mundo proviene del ganado, que es rico en nutrientes como proteínas de alto valor biológico, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales [2],[3]. Sin embargo, esta leche también puede contener una variedad de microorganismos, muchos de los cuales son patógenos para los humanos. Las principales fuentes de contaminación microbiana son endógenas, como la propia vaca, o exógenas, como el medio ambiente (suelo, agua, estiércol y animales domésticos y salvajes). Además, los equipos de ordeño y/o procesamientos antihigiénicos y el contacto con agricultores o trabajadores en la granja o en la fábrica también se consideran fuentes exógenas. En general, las enfermedades transmitidas por la leche pueden ser causadas por bacterias, protozoos o virus [4].

La leche debe someterse a un proceso de pasteurización, que consiste en calentar un líquido a una temperatura inferior a la de ebullición para destruir los microbios. En el procesamiento de productos lácteos, la pasteurización tiene los siguientes propósitos: mejorar la seguridad de la leche para los consumidores mediante la eliminación de microorganismos patógenos que puedan estar presentes; Preservar la calidad de los productos lácteos eliminando microorganismos y enzimas que causan el deterioro, lo que afecta la calidad y reduce el estante de la leche. (5)

En Perú, la producción de mil frescos hasta septiembre de 2023 fue de 1,686,609 toneladas, siendo la región de Puno el quinto mayor productor con 111,962 toneladas (6). La leche fresca producida se destina principalmente a plantas de procesamiento. En 2023, la producción nacional de queso aumentó un 8,7% en comparación con el año anterior, produciendo 137.000 toneladas (El departamento de Puno tiene el mayor número de plantas de producción del país [8]. La industria quesera regional utiliza principalmente calderos para la producción de queso, donde la leche se calienta sin ser pasteurizada, debido a la dificultad del proceso de

enfriamiento, ya que la leche fresca debe enfriarse para agregar cuajo y otros ingredientes cuando se pasteuriza. Como resultado, el queso producido no es de alta calidad ni seguro, por lo que es necesario contar con un sistema de pasteurización adecuado.

Uno de los equipos utilizados para pasteurizar la leche es el intercambiador de calor de tubos concéntricos (CTHE). Estos intercambiadores tienen dos tubos concéntricos que permiten que fluyan dos fluidos diferentes [9]. La leche normalmente fluye a través del tubo interior, mientras que el agua caliente o el vapor fluyen a través del espacio anular entre los tubos. La pared del tubo interior permite que el calor se transfiera de un fluido a otro.

En un CTHE, se producen dos tipos principales de transferencia de calor al pasteurizar la leche: conducción y convección [10]. El calor se transfiere del líquido caliente (agua o vapor) al líquido frío (leche) por conducción a través de la pared de la cámara de aire. La pasteurización de la leche en equipos de tubos concéntricos es un proceso altamente eficiente. La velocidad a la que se transfiere el calor del agua caliente a la leche depende directamente de varios factores, incluida la conductividad térmica de las paredes del tubo, su grosor y la diferencia de temperatura entre los dos fluidos.

Este proceso de calentamiento se acelera significativamente por las corrientes de convección generadas tanto en el agua como en la leche. La leche más caliente, al ser menos densa, tiende a subir, mientras que la leche más fría y densa se hunde, creando un ciclo continuo que optimiza la transferencia de calor. Un fenómeno similar ocurre en agua caliente, asegurando un calentamiento uniforme de la leche. El diseño de tubo concéntrico ofrece numerosas ventajas para la pasteurización. Al permitir un control preciso de la transferencia de calor, evita que la leche se sobrecaliente, lo que es esencial para preservar sus propiedades nutricionales y organolépticas. Además, la eficiencia de este sistema garantiza un proceso de pasteurización rápido y seguro [11].

La pasteurización se ha convertido en un proceso crucial para garantizar la seguridad de la leche en la industria alimentaria, donde la seguridad y la calidad son primordiales. Sin embargo, la variabilidad inherente a las condiciones operativas, especialmente en lo que respecta a la temperatura, puede comprometer la eficacia y la consistencia del proceso. Se ha demostrado que este tratamiento térmico, si no se controla adecuadamente, afecta negativamente a algunos de los compuestos biológicamente activos o nutricionales, lo que podría tener graves consecuencias para el bienestar del consumidor (Peila et al., 2016). En este contexto, la implementación de un controlador PID (proporcional, integral y derivado) se presenta como una solución tecnológica prometedora para abordar estos desafíos. Los controladores PID son los más utilizados en las industrias de control de movimiento, control de procesos, electrónica de potencia, hidráulica, neumática, fabricación y otras. Esto se debe a su estructura simple, que es fácil de implementar y mantener (Åström y Hägglund, 2001). Este mecanismo ajusta la salida de un sistema en función de tres términos: proporcional, integral y derivado. La parte proporcional genera una salida que responde proporcionalmente al error de corriente, es decir, la diferencia entre el valor deseado y el valor medido. La parte integral corrige los errores acumulados a lo largo del tiempo agregando el error a lo largo del tiempo y ajustando la salida en consecuencia. Finalmente, la parte derivada predice el comportamiento futuro del error considerando su tasa de cambio, reduciendo la velocidad de la respuesta para evitar sobrecorrección u oscilaciones excesivas[12].

Mediante la implementación de un PLC (controlador lógico programable), que es una herramienta diseñada para la automatización de procesos y el control industrial, podemos lograr un control preciso y consistente de los parámetros del proceso. Su capacidad para manejar múltiples entradas y salidas, así como su velocidad de procesamiento, garantiza que las variaciones en la temperatura del pasteurizador sean mínimas y rápidas de corregir [13]. La eficacia del control PID radica en su capacidad para mantener la temperatura dentro de rangos

55 100 óptimos con mayor precisión y consistencia que los métodos de control tradicionales. Al
101 automatizar el proceso de pasteurización mediante un PLC que ejecuta el algoritmo PID junto
102 con otras funciones de control secuencial o lógico, permite un sistema de control centralizado
14 103 y flexible, buscando optimizar tanto la eficiencia como la fiabilidad del proceso, asegurando el
104 cumplimiento de los requisitos de seguridad alimentaria. Además de mejorar la seguridad y la
105 calidad del producto, esta automatización tiene el potencial de reducir significativamente los
7 106 costos operativos al minimizar el consumo de energía y el desperdicio asociados con el error
107 humano o las fluctuaciones de temperatura incontroladas (Mohindru, 2024). El objetivo de este
3 108 estudio es automatizar y optimizar el proceso de pasteurización de la leche mediante la
109 implementación de un sistema de control PID en un PLC. También se espera que asegure la
110 eliminación de microorganismos sin comprometer la calidad de la leche. Esta investigación
17 111 tiene como objetivo contribuir al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería de
112 control y los procesos industriales, ofreciendo un enfoque innovador y práctico para la
113 optimización de la pasteurización en la industria alimentaria. En definitiva, se espera que los
114 resultados obtenidos beneficien a la industria alimentaria y puedan extrapolarse a otros sectores
33 115 que requieren un control preciso de los procesos térmicos para garantizar la seguridad y la
116 calidad del producto.

8 117 introducción debe colocar brevemente el estudio en un contexto amplio y resaltar por qué es
1 118 importante. Debe definir el propósito del trabajo y su significado. El estado actual del campo
119 de investigación debe revisarse cuidadosamente y citarse las publicaciones clave. Por favor,
120 destaque las hipótesis controvertidas y divergentes cuando sea necesario. Finalmente, mencione
121 brevemente el objetivo principal del trabajo y destaque las principales conclusiones. En la
122 medida de lo posible, mantenga la introducción comprensible para los científicos fuera de su
123 campo particular de investigación. Las referencias deben numerarse en orden de aparición e

indicarse con un número o números entre corchetes, por ejemplo, [1] o [2,3] o [4–6]. Consulte el final del documento para obtener más detalles sobre las referencias.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la entrada de adquisición de datos, como se muestra en la Tabla 1, se utilizaron tres sensores de temperatura de resistencia de platino PT-100 (Omega Engineering, EE. UU.), junto con sus respectivos convertidores de voltaje y corriente, debido a su alta consistencia y precisión en la adquisición de datos. Estos sensores son muy estables en el tiempo y, por lo tanto, se utilizan en aplicaciones de monitoreo constante; un caudalímetro de la marca SEA (Italia), por su bajo coste, fácil implementación, tamaño compacto y porque no requiere calibraciones complejas; y dos electroválvulas de 12V-AC de la marca AIRODK (China), utilizadas por su bajo consumo de energía, baja presión y fácil integración en sistemas de automatización.

Tabla 1. Componentes de entrada de adquisición de datos.

Equipo	Cantidad
Sensor de temperatura PT-100	3
Convertidor de tensión y corriente para PT-100	3
Caudalímetro H2 - YF-S201 - 1-30 L/min - $\leq 1,75$ MPa	1
Electroválvulas AIRODK 12v-AC	2

137

Para el control de la CPU, como se muestra en la Tabla 2, se utilizó un controlador lógico programable (PLC) Mitsubishi FX3U (Japón), junto con una pantalla táctil HMI Samkoon SK-070HE (China). Estos modelos fueron elegidos por sus destacadas características técnicas, como el modularidad y la flexibilidad, que permiten ampliar y personalizar el sistema según las necesidades del proceso. El PLC puede integrar módulos adicionales de entrada/salida, comunicación y funciones especiales, como el control de temperatura PID. Además, su alta capacidad de procesamiento garantiza operaciones rápidas y confiables. En cuanto a las comunicaciones, ambos dispositivos admiten protocolos industriales avanzados, lo que permite la conectividad con múltiples componentes del sistema, incluidos sensores, actuadores y la

interfaz HMI. Además, la facilidad de programación, compatible con lenguajes como LD (Ladder Diagram) y ST (Structured Text), y su tamaño compacto con bajo consumo de energía hicieron que esta elección fuera óptima para el sistema de pasteurización desarrollado.

Tabla 2. Componentes de control de CPU.

Equipo	Cantidad
PLC - Mitsubishi FX3U - 38,4 Kbps (232) - DC24V (1 A)	1
Samkoon EA-043A - HMI 3.7" VFD007EL23A - 3PH 0-24V 4.2A 1.6KVA 0.75kW/1HP	1

La Tabla 3 muestra los componentes de control que permitieron que el sistema de pasteurización funcionara automáticamente. Varios equipos fueron clave. El calentador de agua a gas Mabe JSD-P5 (México) se encargaba de calentar el agua que posteriormente circularía como fluido térmico, asegurando que la leche alcanzara la temperatura necesaria para el tratamiento. La bomba periférica WERKEN XKM60-1AL de 0,5 HP (China) mantenía un flujo constante de agua caliente a través de los tubos, mientras que la bomba centrífuga sanitaria Inoxpa de 1 HP (España) se encargaba de la manipulación higiénica de la leche, evitando la contaminación y asegurando un proceso uniforme. Todo el sistema de control, incluidos los módulos PLC y PID Mitsubishi FX3U (Mitsubishi, Japón), dependía de la fuente de alimentación Opalux OP-F24V16A-400W (China), que suministraba los 24 V CC necesarios para un funcionamiento estable de la automatización. Sin este equipo, el proceso no habría alcanzado el mismo nivel de precisión y eficiencia.

Tabla 3. Componentes de salida de adquisición de datos.

Equipo	Cantidad
Calentador de agua a gas - jsd-p5	1
Bomba periférica "WERKEN - xkm60-1AL - HP 0.5"	1
Bomba centrífuga sanitaria de 1HP	1
Fuente - "opalux - op-f24v16a-400w - 24 v dc"	1

El diseño del sistema de pasteurización utilizó solo tubos de acero inoxidable AISI 304 (ver Tabla 4). Este material es ampliamente utilizado en la industria alimentaria por su excelente

168 resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y cumplimiento de las normas sanitarias
 169 internacionales [14]. Las tuberías utilizadas son Schedule 40, lo que les confiere el espesor
 170 adecuado para soportar las exigencias mecánicas del proceso, especialmente en condiciones de
 171 operación de hasta 15 bar de presión y 200°C. Esta elección técnica se basó en el código ASME
 172 B31.3 para sistemas de tuberías de proceso, que establece criterios para la presión permitida y
 31 173 los factores de seguridad para garantizar la integridad del sistema bajo tensiones térmicas y
 174 mecánicas [15]. Todas las líneas principales y auxiliares del sistema se construyeron con este
 175 mismo material y especificaciones, lo que garantiza la uniformidad, la confiabilidad operativa
 176 y minimiza los riesgos de contaminación. Esta configuración no solo mejoró la eficiencia del
 177 intercambio de calor en los tubos concéntricos, sino que también fortaleció la seguridad
 178 higiénica y estructural del sistema de pasteurización.

179 **Tabla 4.** Detalles de las pipas pasteurizadoras.

Código de tubería	Material	Horario	Dimensiones	Tª (°C)	P(barra)
1"AISI30410-L001	acero inoxidable	10	1 pulgada	máx.:175	5
1/2"AISI30410-LP- 005	acero inoxidable	10	1/2 pulgada	máx.:175	5
1"AISI30410-AC001	acero inoxidable	40	1 pulgada	máx.:200	15
1"AISI30410-AC002	acero inoxidable	40	1 pulgada	máx.:200	15
1 "AISI30410-AC006	acero inoxidable	40	1 pulgada	máx.:200	15
1"AISI30410-AC003	acero inoxidable	40	1 pulgada	máx.:200	15
1"AISI30410-AC004	acero inoxidable	40	1 pulgada	máx.:200	15
1"AISI30410-AC005	acero inoxidable	40	1 pulgada	máx.:200	15
1/2"AIS30410- AC001	acero inoxidable	40	1/2 pulgada	máx.:200	15
1/2" AIS30410- AC002	acero inoxidable	40	1/2 pulgada	máx.:200	15
1"AISI30410- AC007	acero inoxidable	10	1 pulgada	máx.:175	5

180

La Figura 1 muestra el diagrama de flujo de la metodología de diseño del pasteurizador, que comienza con la recopilación de datos sobre las propiedades térmicas y físicas de la leche, el agua y los materiales del sistema. Estos datos se utilizan para realizar cálculos de transferencia de calor y energía en Python, apoyándose en herramientas especializadas como la APP Pasteurizador y referencias bibliográficas. A continuación, se toma una decisión sobre la viabilidad del diseño: si es necesario, se optimiza antes de continuar. Si es posible, el diseño se desarrolla en 2D y 3D, seguido de la automatización mediante PLC-PID. Finalmente, se realiza una validación térmica y mecánica para completar el proceso.

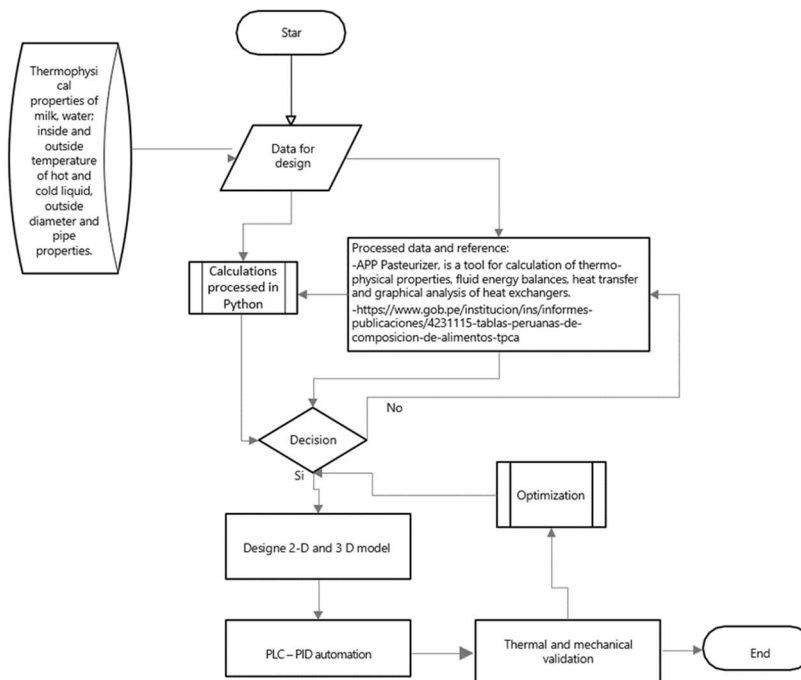


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología de diseño.

En este estudio, se utilizó un software especializado desarrollado en Python para calcular y graficar las diferentes características termodinámicas de los fluidos involucrados en el proceso. La información sobre su composición se obtuvo de las tablas de composición de alimentos peruanos [16].

2.1. Propiedades termofísicas

La leche de vaca tiene muchas propiedades, tres de las cuales son particularmente importantes, ya que son las que utilizan los softwares especializados. El calor específico (C_p), la densidad (ρ) y la conductividad térmica (k) se pueden calcular en función de la temperatura utilizando modelos matemáticos de predicción [17]. El software utiliza las fórmulas 1, 2 y 3 para calcular C_p , ρ y k , respectivamente. También permite seleccionar el tipo de fluido, por lo que la leche de vaca se define como un fluido frío y caliente, y se ingresan las temperaturas de entrada y salida, en base a las cuales se realizan los cálculos en el programa.

El programa también calcula el flujo másico, el flujo volumétrico y la diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD) del fluido frío y caliente; Se proporciona la información requerida y los datos se obtienen utilizando las fórmulas 4, 5 y 6.

El pasteurizador tiene los ciclos de limpieza adecuados para garantizar la higiene de la leche, utilizando enjuagues con agua con soluciones ácidas y básicas para eliminar cualquier posible incrustación y residuo en el pasteurizador [11]. Así, se simula la situación más adversa, por lo que el programa calcula un factor de ensuciamiento del 0-5% representado en la fórmula 7.

Para resolver la ecuación anterior, es necesario conocer el coeficiente de convección (h) en cada lado, por lo que el programa también calcula la viscosidad, la velocidad del fluido, el número de Reynolds, el número de Prandtl, el número de Nusselt y finalmente obtiene los coeficientes internos y externos de la película.

2.2. Identificación del sistema

Este estudio optimiza el proceso de pasteurización utilizando la metodología de identificación del sistema. El proceso de identificación del sistema implica definir una relación matemática (modelo) entre las causas (entradas) y los efectos (salidas) de un sistema (proceso), basada en datos observados o medidos [18]. Se utilizó la plataforma MATLAB R2024a para la identificación de parámetros del sistema y el análisis de datos. Los valores de los parámetros PID se determinan mediante la obtención de datos experimentales para calcular la respuesta del

221 sistema [19]. Los datos se obtienen desde el momento en que hay transferencia de calor al flujo
222 dentro de los tubos. Se recopila mediante sensores que registran la temperatura cada segundo.

223 Los datos sin procesar no suelen estar listos para su uso en la creación de modelos. Debe
224 someterse a un control de calidad y un preprocesamiento antes de someterse al algoritmo de
15 225 estimación del modelo, ya que existen numerosos factores que afectan a la calidad de los datos,
226 como el ruido. El filtrado de datos es un método para resolver este tipo de problema [18]. Los
227 datos se suavizan utilizando un filtro EMA (Exponential Moving Average) en Python, ya que
228 este filtro responde rápidamente a cambios significativos, es intuitivo y tiene un peso menor.
229 Con la herramienta SystemIdentification de MATLAB, se identifica el modelo del sistema y se
230 genera la función de transferencia correspondiente. Una vez que el modelo de tiempo discreto
231 está disponible, se desarrolla una simulación con la herramienta Simulink y se ajusta el control
54 232 PID con la herramienta PID Tuner de MATLAB, que nos permite ajustar los parámetros del
52 233 controlador PID y optimizar así los valores K_p , K_i y K_d . Luego observamos el tiempo de
234 respuesta del sistema simulado y lo aplicamos al sistema real.

235 2.3. Automatización

236 El pasteurizador HTST funciona con un PLC (controlador lógico programable), lo que
237 permitió automatizar el sistema de manera eficiente y precisa. Esta configuración mejora la
238 ejecución del proceso, asegurando que cada etapa se llevará a cabo en el orden correcto y con
239 un control adecuado de las variables clave.

240 El PLC gestiona tres variables fundamentales para el proceso: temperatura, caudal y control
3 241 de la electroválvula. El caudal se regula a través de un variador de frecuencia, que ajusta la
242 velocidad de la bomba centrífuga sanitaria para mantener un flujo constante dentro del sistema.
243 Al mismo tiempo, las electroválvulas automatizan la apertura y el cierre del flujo, ya que el
244 sistema cuenta con una zona de regeneración en la que, si la leche no alcanza la temperatura
245 deseada, se devuelve a la entrada del pasteurizador, mejorando el funcionamiento y reduciendo

2

246 la intervención manual. Además, se implementó un sistema de control PID para mantener la
247 estabilidad del sistema minimizando las desviaciones en los parámetros establecidos,
248 garantizando así una pasteurización uniforme y de alta calidad.

249 El tiempo y la temperatura fueron factores determinantes en la automatización del proceso.
250 Una temperatura insuficiente o un tiempo de exposición inadecuado pueden comprometer la
251 eliminación de microorganismos, mientras que las temperaturas excesivas pueden afectar la
252 biodisponibilidad del calcio y otros componentes de la leche.

2

253 Para el desarrollo de la interfaz de usuario (HMI), se tomaron en consideración factores
32 254 importantes y esenciales de la pasteurización, como el control de la temperatura del agua con
255 glicol; temperaturas de entrada, salida y pasteurización de la leche; control de frecuencia de la
256 bomba eléctrica de leche; y control eléctrico de apertura y cierre de válvulas. Para el desarrollo
257 de la HMI, se consideraron dos tipos de operación: manual y automatizada. Se incluyó la
258 operación manual para proporcionar respaldo en caso de que ocurriera alguna interferencia o
259 anomalía durante el proceso de pasteurización.

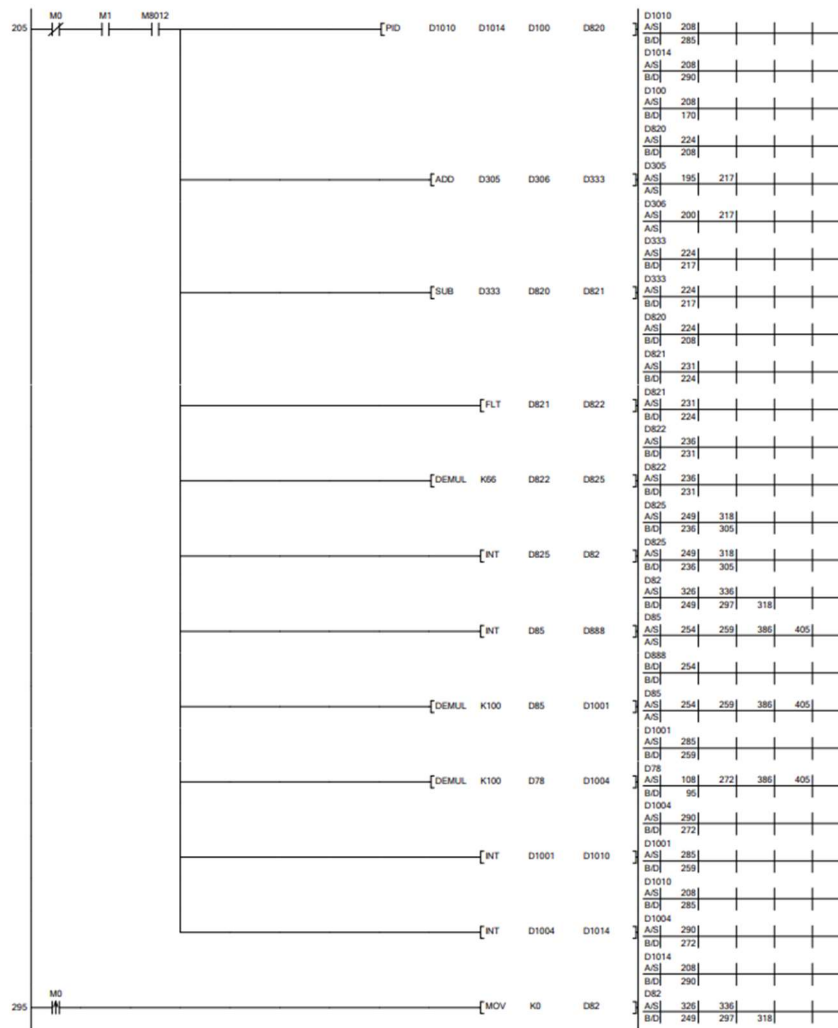


Figura 2. Parte del diagrama de escalera de PID.

La Figura 2 muestra cómo el programa Ladder implementa el control PID en el PLC Mitsubishi FX3U-4LC. El funcionamiento se basa en la activación del bloque PID cuando cumple ciertas condiciones lógicas, utilizando registros de memoria para definir el punto de ajuste de temperatura (D1010), la medición de temperatura real (D1014) y la salida de control (D820), que influye en la velocidad de funcionamiento de la bomba centrífuga y en la apertura de las electroválvulas.

Antes de calcular el PID, el programa realiza ajustes matemáticos como sumas y restas para refinar la señal de control y corregir posibles desviaciones. Convierte los datos entre formatos enteros y de punto flotante para mejorar la precisión de los cálculos. Los factores de escala

también se aplican a través de multiplicaciones, lo que garantiza que estos valores se puedan adaptar a los rangos de funcionamiento del convertidor de frecuencia y el medidor de flujo.

Los valores procesados se convierten y almacenan en registros específicos, asegurando su control con los actuadores. La reasignación de memoria se aplica para restablecer las variables críticas, lo que sugiere un mecanismo de autoajuste para garantizar la estabilidad del proceso. Este método permite pasteurizar la leche a una temperatura adecuada durante el tiempo requerido, asegurando un proceso de pasteurización eficiente.

2.4. Validación de la calidad microbiológica de la leche

La leche fresca se recolectó de la granja de la Universidad Unión Peruana y se transportó en un refrigerador al Centro de Investigación en Ciencias de los Alimentos (CICAL) de la misma universidad para su análisis microbiológico.

Los análisis se realizaron teniendo en cuenta las especificaciones microbiológicas sanitarias establecidas en el Decreto Supremo N° 007-2017-Minagri para leche y productos lácteos [20]. Si bien es cierto que, según el Decreto Supremo N° 004-2022-MIDAGRI, se suspenden temporalmente los requisitos del artículo 9.1 del Decreto Supremo N° 007-2017-MINAGRI, referentes a los criterios físico-químicos y microbiológicos para la leche cruda, estos criterios fueron tenidos en cuenta al analizar la leche (MIDAGRI, 2022).

Para determinar el número de coliformes, se utilizó agar como medio de cultivo. Las diluciones se prepararon mezclando 90 ml de agua de peptona con 10 ml de leche cruda. Se agregó un ml de dilución a cada placa de Petri, utilizando cinco placas por muestra. Las placas se incubaron a 37 ° C durante 24 horas.

Para determinar los aerobios mesófilos, se utilizaron placas Petrifilm 3M de acuerdo con el método oficial AOAC 986.33 [21]. El análisis se realizó colocando 1 ml de la muestra en cada placa, que luego se incubaron a 32 ° C durante 48 horas. NTP 202.001-2016 establece límites aceptables de 5×10^5 UFC/ml para coliformes y 10^2 UFC/ml para aerobios mesófilos en leche

cruda. Para determinar los aerobios mesófilos en la leche cruda, se realizó una dilución decimal en serie a una concentración de 1:1000 (10^{-3}), utilizando agua de peptona estéril al 0,1% como diluyente.

Las muestras de leche procesadas mediante el sistema de pasteurización controlado por PID se analizaron utilizando la misma metodología descrita para la leche cruda.

Los límites aceptables para la leche pasteurizada son 1 UFC/ml para coliformes y 2×10^4 UFC/ml para aerobios mesófilos en leche pasteurizada, de acuerdo con NTP 202.001-2016.

Para verificar la inactivación de la fosfatasa alcalina, se utilizó el método cualitativo con tiras reactivas Phosphatesmo MI [22]. La tira se sumergió brevemente en 50 ml de leche pasteurizada y, después de agitar suavemente para eliminar el exceso de líquido, se colocó en una bolsa de polietileno para evitar que se secase. Finalmente, las tiras se incubaron a 36°C durante 1 hora.

RESULTADOS

3.1. Software de cálculo del diseño del pasteurizador

Los siguientes resultados se obtuvieron con base en las herramientas de trabajo y la información proporcionada por el software especializado.

La temperatura de entrada para el fluido frío y caliente se define como 10°C y 72°C respectivamente, obteniendo así los siguientes valores para calor específico, densidad y conductividad térmica, que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Cálculo de C_p , D , k basado en las temperaturas de la leche.

Propiedad termofísica	Fluido frío (10°C)	Fluido caliente (72°C)
Calor específico ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$)	3883.57	3913.31
Densidad (kg/m^3)	1043.69	1024.12
Conductividad térmica ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)	0.54	0.62

El programa tiene en cuenta el valor de transferencia de calor de 3377,71 W como constante, por lo tanto, el flujo másico a contracorriente para el fluido frío y caliente es de 0,02899 kg/s y

0,02845 kg/s respectivamente. Se supone que el flujo es de 100 L/h y, por lo tanto, para ambas gripes su valor es de $2,77778 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. El LMTD se calculó en las direcciones de flujo contracorriente y paralelo, con valores de 31.8292 y 16.6648 respectivamente. Simulando un factor del 2% se obtiene un valor de 3445,26170 W.

Teniendo las temperaturas de entrada y salida del fluido frío a 10°C y 40°C, el equilibrio se representa en la figura 3, mostrando la relación entre el flujo y la temperatura, ya que a medida que la temperatura aumenta o disminuye, el flujo hará lo mismo en proporción.

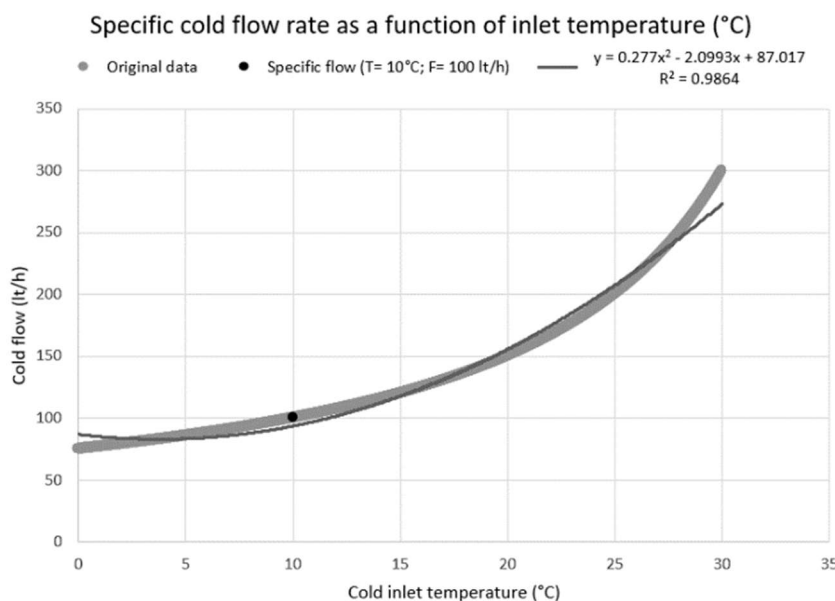


Figura 3. Relación temperatura y flujo.

Se definen las dimensiones del tubo, siendo los diámetros exterior e interior del tubo 0,0193 m y 0,0152 m, respectivamente; Las medidas del tubo interior son 0,0126 m y 0,00995 m. Con estas mediciones, el programa obtuvo los siguientes resultados, que se muestran en la Figura 4.

Tube Dimensions	
Outer Diameter of Inner Tube (m):	0.0126
Inner Diameter of Inner Tube (m):	0.00995
Outer Diameter of Outer Tube (m):	0.0193
Inner Diameter of Outer Tube (m):	0.0152
Annular Hydraulic Diameter (m):	0.00260
Annular Flow Area (m ²):	5.30929e-06
Inner Tube Flow Area (m ²):	7.77564e-05
Actual Length (m):	6
Optimal Length in Parallel Flow (m):	12.6434
Optimal Length in Counterflow (m):	6.6197

339

340 **Figura 4.** Dimensiones del tubo.

341 Con la información obtenida previamente del TML en paralelo/contraflujo y transferencia
 26 342 de calor más factor de ensuciamiento, se obtienen los valores del coeficiente de transferencia
 343 de calor global, como se puede ver en la figura 5, los valores obtenidos para la U del diseño del
 344 sistema obtenidos por el programa son 870,48W/m² para un flujo paralelo y para el contraflujo
 345 de 455,76W/m².

346

347 **Conflicto de intereses:** El autor correspondiente debe declarar en este punto si existe o no
 348 algún conflicto de intereses, ya sea financiero o de otro tipo, que pueda haber influido en la
 349 preparación o finalización del trabajo.

350 **Declaración de financiamiento:** El autor correspondiente debe declarar en este ítem si hubo o
 351 no financiamiento para la investigación, indicando, si corresponde, el nombre de la
 352 agencia/institución financiadora con el respectivo número de Protocolo o referencia.

353 **Agradecimientos:** Opcional

Overall Design Heat Transfer Coefficient (Actual U)

Total Area (m ²):	0.23750
LMTD in Parallel Flow (°C):	16.66477704
LMTD in Counterflow (°C):	31.82924072
Q + Fouling Factor (W):	3445.26170
Actual U in Parallel Flow (W/m ²):	870.480596
Actual U in Counterflow (W/m ²):	455.755925

354

355 **Figura 5.** Coeficiente de transferencia de calor de diseño general.

356 Utilizando la ecuación general basada en resistencias térmicas en serie, se obtuvo el valor

2

357 óptimo de U para el sistema que se muestra en la Figura 6, que fue de 413,09 W/m²;

358 comparando la U real con el valor óptimo, se observó una diferencia del 9,4%.

Overall Design Heat Transfer Coefficient (Optimal U)

Cold Fluid	Hot Fluid
Viscosity (Pa·s): 2.69472e-03	Viscosity (Pa·s): 7.24088e-04
Velocity: 3.57241e-01	Velocity: 5.23192e+00
Re: 2.10311e+03	Re: 1.92395e+04
Pr: 1.92966e+01	Pr: 4.57240e+00
Nu: 1.21478e+01	Nu: 3.69234e+01
h: 4.33429e+02	h: 8.80075e+03
1/h: 2.30718e-03	1/h: 1.13627e-04
Optimal U: 413.085388	

359

360 **Figura 6.** Coeficiente de transferencia global óptimo.

361 Como se puede ver en la Figura 7, el comportamiento de las temperaturas en contracorriente

362 muestra cómo el fluido frío aumenta su temperatura a medida que avanza a través de los 6 m

363 de longitud del tubo, mientras que el fluido caliente disminuye cuando va en la dirección

364 opuesta.

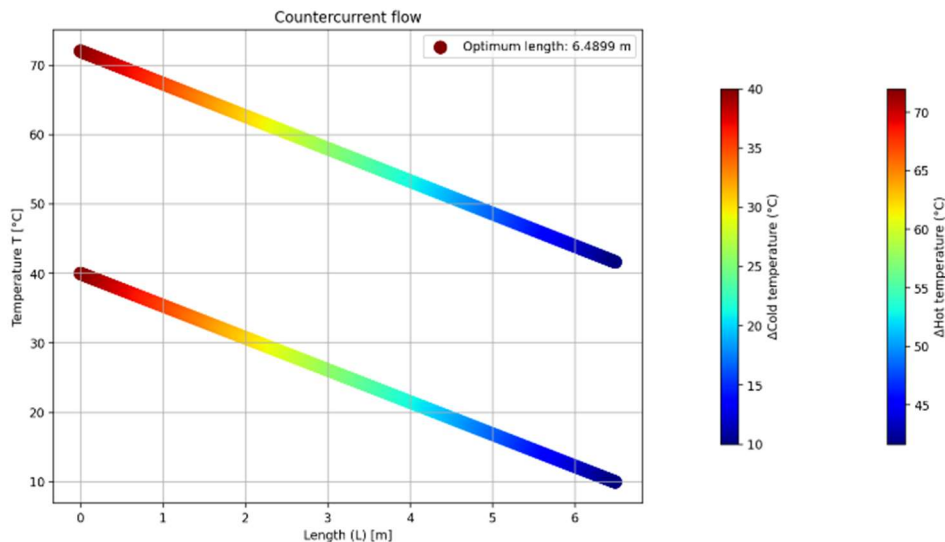


Figura 7. Comportamiento de la temperatura en flujo a contracorriente.

3.2. Identificación de sistemas

Los datos a analizar se obtienen utilizando el pasteurizador en su modo manual mediante el uso de los sensores que tiene integrados, los datos son en relación a Temperatura/Tiempo, posteriormente se aplica un filtro EMA para suavizar la señal y se somete a la herramienta MATLAB SystemIdentification, obteniendo así la siguiente **función de transferencia del sistema**, Se muestra en la Fórmula 9.

Para utilizar la función de transferencia en una simulación, se tuvo que aplicar la transformada Z, que permite convertir la señal de tiempo continuo en un tiempo discreto, obteniendo así la fórmula 10.

Con esta ecuación, se desarrolló una simulación de planta con la herramienta Simulink, en la que se obtuvieron los valores de PID con la herramienta PID Tuner y se observó el comportamiento del sistema.



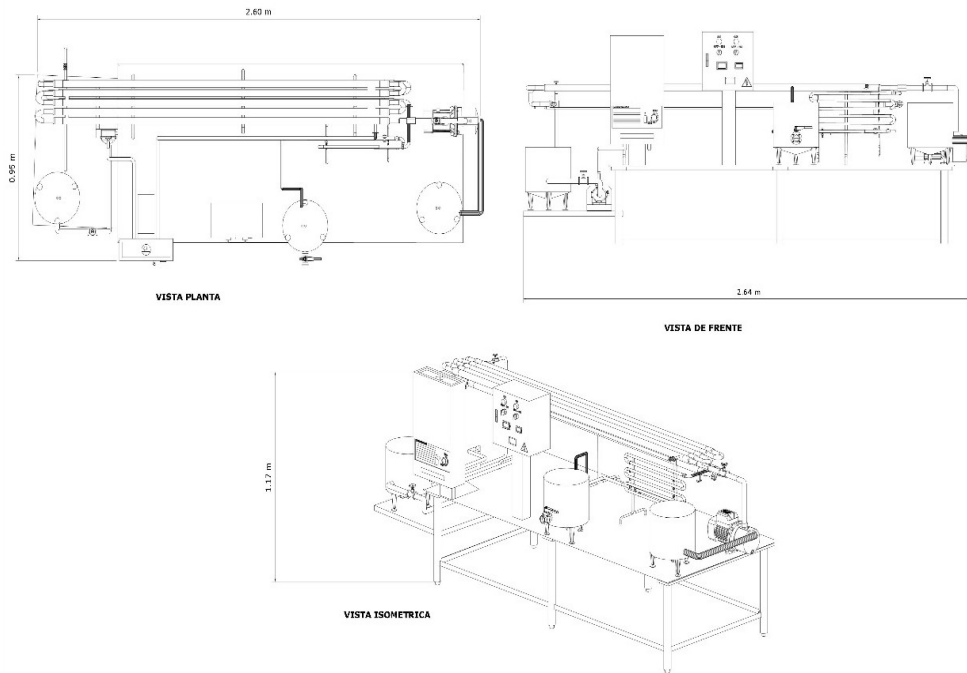
Figura 8. Respuesta del sistema de planta simulada en Simulink.

Los valores obtenidos para el control proporcional, integral y derivado son 1,6, 0,023 y 0,4 respectivamente. Los valores de PID obtenidos se incluyen en el sistema y se observa su comportamiento.

La Figura 8 muestra que el tiempo de respuesta para el ajuste de temperatura es de 7,5 s, que es menor que el tiempo de pasteurización, lo que indica que el sistema realiza correcciones dentro del tiempo requerido para no afectar la calidad de la leche.

3.3. Automatización

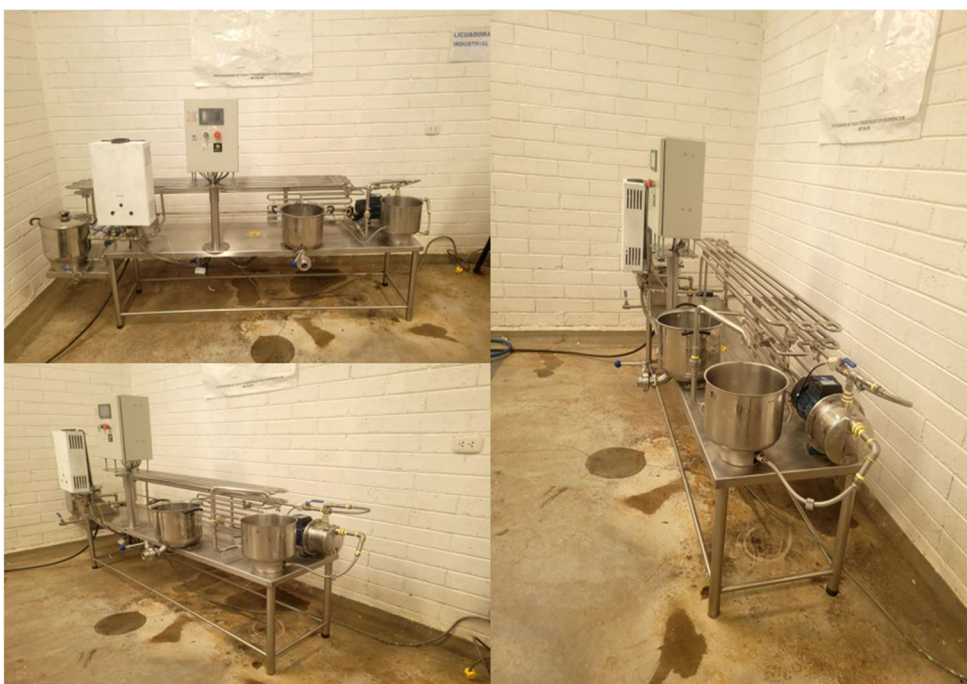
Inicialmente dibujado en 2D y 3D, se muestra el pasteurizador HTST, como se puede ver en la figura 9, se presenta un diseño que permite un control preciso del proceso de pasteurización.



390

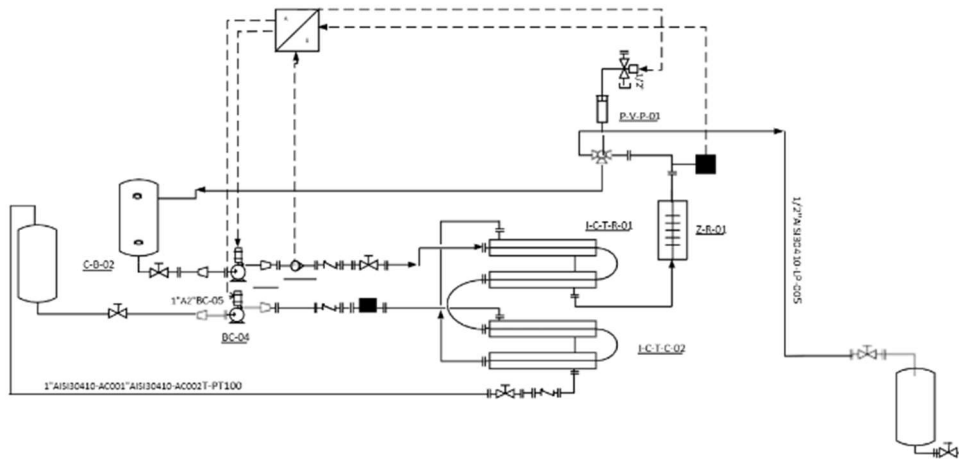
391 **Figura 9.** Diseño de pasteurizadores de tubos concéntricos 2D y 3D - Diseño.

392 La imagen 1 muestra el pasteurizador de tubo concéntrico HTST para leche y la producción
 393 de queso, yogur y productos lácteos, que garantiza un calentamiento y enfriamiento uniformes
 394 a través de su sistema de intercambio de calor y la Figura 10 muestra el diagrama de
 395 comunicación del PLC con sensores, electroválvulas, bomba centrífuga y variador de
 396 frecuencia.



397

398 **Imagen 1.** Pasteurizador HTST de tubo concéntrico instalado, optimizado y automatizado.



401 **Figura 10.** Diagrama PID del pasteurizador y su comunicación con equipos y componentes.

3.4. Diseño de interfaz hombre-máquina HMI

El diseño de la interfaz hombre-máquina (HMI) implementado en el pasteurizador HTST fue concebido para optimizar la interacción entre el operador y el sistema, priorizando la simplicidad, la claridad visual y el control integral del proceso. La interfaz principal permite el monitoreo en tiempo real de variables críticas como la temperatura de la leche y el agua, el caudal de leche y la frecuencia de funcionamiento de la bomba eléctrica, lo que mejora significativamente la operatividad y reduce la necesidad de una intervención constante [23].

La imagen 2 muestra las interfaces del PLC y la capacidad de cambiar entre los modos automático y manual, lo que permite adaptar el proceso a las diferentes condiciones de funcionamiento. También se incluye una segunda ventana para ingresar parámetros PID optimizados y ajustar el rango de frecuencia de la bomba, lo que permite un control más preciso del sistema. También se integró un botón de emergencia físico como medida de seguridad, así como un sistema de registro continuo de datos, que permite el almacenamiento y la descarga de datos segundo a segundo a través de USB, lo que facilita la trazabilidad y el posterior análisis del proceso [24].



Imagen 2. Interfaces de referencia de control PLC.

En general, este diseño HMI mejora significativamente la operatividad del sistema, facilitando una gestión más segura, precisa y eficiente del proceso de pasteurización, y reduciendo la dependencia de la intervención manual constante gracias a su automatización avanzada.

3.5. Validación microbiológica.

Los análisis realizados en las muestras de leche cruda permitieron evaluar la carga microbiana y su cumplimiento de los límites establecidos en la normativa vigente, que se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Límites microbiológicos aceptables según NTP N° 007-2017-MINAGRI comparados con los resultados promedio de los análisis realizados en leche cruda.

Agente microbiano	Unidad	Límite por ml m	Análisis de promedio
Aerobios mesófilos	UFC/ml	5×10^5	8.93×10^4
Coliformes	UFC/ml	10^2	8×10

Los resultados del análisis de actividad microbiológica de la leche cruda, tal como se presenta en la Tabla 7, indican un estado higiénico aceptable de la leche, dentro del límite aceptable.

Tabla 7. Límites microbiológicos aceptables según NTP N° 007-2017-MINAGRI comparados con los resultados medios de los análisis realizados en leche pasteurizada.

Agente microbiano	Unidad	Límite por ml m	Análisis de promedio
-------------------	--------	--------------------	----------------------

Aerobios mesófilos	UFC/ml	2×10^4	$1,35 \times 10^2$
Coliformes	UFC/ml	1	-

435

436 El análisis cualitativo de la fosfatasa alcalina utilizando varillas de prueba de Fosfatasa no
437 mostró actividad enzimática, lo que indica que el proceso de pasteurización fue efectivo para
438 inactivar esta enzima. Las muestras procesadas con el sistema de pasteurización de tubos
439 concéntricos con control PID mostraron una reducción significativa de la carga microbiana,
440 como se muestra en la Tabla 8.

441 **Tabla 8.** Reducción logarítmica de los resultados microbiológicos y detección de fosfatasa
442 alcalina.

Microorganismo	Leche	Media $\pm$ SD ^	Mediana	Mínimo	Máximo	25° Perc.	75° Perc.
Aerobios mesófilos log 10 UFC/ml	crudo	4,89 $\pm$ 0,057	4.882	4.844	4.951	4.844	4.951
	pasteurizado	2.499 $\pm$ 0.138	1.879	1.722	2.023	1.731	2.000
Registro de coliformes 10 UFC/ml	crudo	1.902 $\pm$ 0.034	1.899	1.870	1.936	1.870	1.936
	pasteurizado	-	-	-	-	-	-
Fosfatasa alcalina	pasteurizado	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia

443

444

445 3.5. Validación microbiológica

446 Estos resultados demuestran que el sistema de pasteurización automatizado con control PID
447 cumple con los estándares microbiológicos establecidos, asegurando la calidad y seguridad de
448 la leche pasteurizada.

449 CONCLUSIONES

450 Los cálculos para las dimensiones del intercambiador de calor en sus dos secciones,
451 regeneración y calentamiento, cumplen con las ecuaciones de la metodología propuesta para la

variación de la temperatura media logarítmica utilizando los datos de propiedades físicas calculados a partir de la composición.

La automatización funcionó como se esperaba, con sensores y electroválvulas comunicándose como se esperaba, lo que hizo que el pasteurizador fuera más eficiente en el proceso. Esto se debe al diseño y cálculos adecuados realizados, así como a los materiales adecuados utilizados en su construcción.

Se determinó que el sistema funcionaba correctamente, pero también se observó una falla en la fase de regeneración de la leche. La leche se calentó en menos tiempo que el punto de ajuste al regresar a la entrada del pasteurizador, lo que provocó errores de respuesta del sistema. Esta falla se debe a que el sistema se está desarrollando para uso industrial y se resuelve aumentando la cantidad de leche a tratar, ya que esto reduce significativamente el cambio de temperatura en la leche y elimina el conflicto con el tiempo de respuesta del sistema.

Los resultados del análisis microbiológico de la leche cruda indican un estado higiénico aceptable, apto para el consumo humano. La pasteurización mediante el sistema automatizado de tubos concéntricos con control PID logró una reducción significativa de la carga microbiana, cumpliendo con los estándares reglamentarios de calidad e higiene.

La determinación de fosfatasa alcalina confirma la eficacia del proceso de pasteurización, asegurando la inactivación de esta enzima y garantizando la seguridad del producto final.

La estabilidad microbiológica lograda con el sistema de pasteurización optimizado con control PID garantiza un producto seguro para el consumo, con una vida útil más larga y menores riesgos microbiológicos.

Declaración de financiamiento: Este trabajo de investigación fue financiado por la Universidad Unión Peruana y por los autores.

Declaración de financiamiento: El autor correspondiente debe declarar en este ítem si hubo o no financiamiento para la investigación, indicando, si corresponde, el nombre de la agencia/institución financiadora con el respectivo número de Protocolo o referencia.

LITERATURA CITADA

- 3M Perú S.A. (2004). 3M Placas Petrifilm™ para el Recuento de Aerobios. PetrifilmRecuentoAerobios.qxd. Recuperado en 2025, de <https://quios.com.co/wp-content/uploads/2017/07/PETRIFILM-AEROBIOS-MESOFILOS-FT.pdf>
- Achaw, O. y Danso-Boateng, E. (2021). Industrias químicas y de procesos. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-79139-1>
- ASME. (2016). ASME B31.3: Código para tuberías de proceso (edición en español). American Society of Mechanical Engineers. Recuperado de <https://s543388e92c771965.jimcontent.com/download/version/1517502160/module/10536007952/name/asme-b31-3-1%20ESPA%C3%91OL.pdf>
- Arturo Duque Marín, J. A. L. A. F. N. (2017). Sintonización De Un Controlador PID En Un PLC Haciendo Uso De Inteligencia De Enjambres. *Prospectiva*, 15(1), 35–41. <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v15n1/1692-8261-prosp-15-01-00035.pdf>
- Belei, O. (2023). Desarrollo de un sistema para el control automático del proceso de pasteurización de la leche. *Revista de Tecnologías Empresariales de Europa del Este*, 6 (2 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282695>
- Borase, R. P., Maghade, D. K., Sondkar, S. Y. y Pawar, S. N. (2021). Una revisión del control PID, los métodos de ajuste y las aplicaciones. *Revista Internacional de Dinámica y Control*, 9(2), 818–827. <https://doi.org/10.1007/s40435-020-00665-4>

- 500 Choi, Y. y M.R. Okos. 1986. Efectos de la temperatura y la composición en las propiedades
501 térmicas de los alimentos. En Ingeniería de alimentos y aplicaciones de procesos, vol. 1,
502 págs. 93-101.
- 503 El Peruano. (2024). Midagri impulsa la producción y la comercialización de más de 350,000
504 productores de queso. [https://elperuano.pe/noticia/240104-midagri-impulsa-la-produccion-](https://elperuano.pe/noticia/240104-midagri-impulsa-la-produccion-y-comercializacion-de-mas-de-350-mil-productores-de-queso#:~:text=En el 2023%2C la produccion,que cuenta con el 4%25)
505 [y-comercializacion-de-mas-de-350-mil-productores-de-queso#:~:text=En el 2023%2C la](https://elperuano.pe/noticia/240104-midagri-impulsa-la-produccion-y-comercializacion-de-mas-de-350-mil-productores-de-queso#:~:text=En el 2023%2C la produccion,que cuenta con el 4%25)
506 [producción,que cuenta con el 4%25](https://elperuano.pe/noticia/240104-midagri-impulsa-la-produccion-y-comercializacion-de-mas-de-350-mil-productores-de-queso#:~:text=En el 2023%2C la produccion,que cuenta con el 4%25)
- 507 FAO. (2002). Nutrición humana en el mundo en desarrollo.
508 <https://www.fao.org/4/W0073S/w0073s01.htm#bm01>
- 509 FAO. (2024). Ganado vacuno. [https://www.fao.org/dairy-production-](https://www.fao.org/dairy-production-products/production/dairy-animals/cattle/es/)
510 [products/production/dairy-animals/cattle/es/](https://www.fao.org/dairy-production-products/production/dairy-animals/cattle/es/)
- 511 FAO, & OMS. (2022). NORMA GENERAL PARA EL USO DE TÉRMINOS LECHEROS.
512 [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B206-1999%252FCXS_206s.pdf)
513 [proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcod](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B206-1999%252FCXS_206s.pdf)
514 [ex%252FStandards%252FCXS%2B206-1999%252FCXS_206s.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B206-1999%252FCXS_206s.pdf)
- 515 Gopi, P., Reddy, S. V., Bajaj, M., Zaitsev, I. y Prokop, L. (2024). Análisis de rendimiento y
516 robustez del controlador PID V-Tiger para regulador automático de voltaje. Informes
517 científicos, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58481-1>
- 518 Jooste, P., Anelich, L. y Motarjemi, Y. (2014). Seguridad de alimentos y bebidas: leche y
519 productos lácteos. En Enciclopedia de Seguridad Alimentaria (Vol. 3, págs. 285–296).
520 Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00286-9>
- 521 Llorente, M. J. (2023). Análisis del Uso de Intercambiadores de Calor en la Industria
522 Alimentaria. Universidad de Sevilla, 98.

- 523 Foro Internacional del Acero Inoxidable. (2010). Acero inoxidable en la industria láctea.
524 [https://worldstainless.org/wpcontent/uploads/2025/02/ISSF_Stainless_Steel_in_the_Dairy_](https://worldstainless.org/wpcontent/uploads/2025/02/ISSF_Stainless_Steel_in_the_Dairy_Industry.pdf)
525 [Industry.pdf](https://worldstainless.org/wpcontent/uploads/2025/02/ISSF_Stainless_Steel_in_the_Dairy_Industry.pdf)
- 526 Macherey-Nagel GmbH & Co. KG. (2021). Papel reactivo de ensayo cualitativo Phosphatesmo
527 MI para fosfatasa en leche.
528 [https://www.mn-net.com/qualitative-test-paper-phosphatesmo-mi-for-phosphatase-in-milk-](https://www.mn-net.com/qualitative-test-paper-phosphatesmo-mi-for-phosphatase-in-milk-90612)
529 [90612](https://www.mn-net.com/qualitative-test-paper-phosphatesmo-mi-for-phosphatase-in-milk-90612)
- 530 MIDAGRI. (2021). MIDAGRI: “En el país existen 6,500 plantas queseras siendo Puno el líder
531 de la producción total.” [https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/350614-midagri-](https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/350614-midagri-en-el-pais-existen-6-500-plantas-queseras-siendo-puno-el-lider-de-la-produccion-total)
532 [en-el-pais-existen-6-500-plantas-queseras-siendo-puno-el-lider-de-la-produccion-total](https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/350614-midagri-en-el-pais-existen-6-500-plantas-queseras-siendo-puno-el-lider-de-la-produccion-total)
- 533 MIDRAGRI. (2023). Leche y derivados.
534 [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5619741/4327863-commodities-leche-y-](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5619741/4327863-commodities-leche-y-derivados-jul-set-2023.pdf?v=1703874888#:~:text=En el segundo trimestre de,mismo periodo del año 2022)
535 [derivados-jul-set-2023.pdf?v=1703874888#:~:text=En el segundo trimestre de,mismo](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5619741/4327863-commodities-leche-y-derivados-jul-set-2023.pdf?v=1703874888#:~:text=En el segundo trimestre de,mismo periodo del año 2022)
536 [periodo del año 2022](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5619741/4327863-commodities-leche-y-derivados-jul-set-2023.pdf?v=1703874888#:~:text=En el segundo trimestre de,mismo periodo del año 2022)
- 537 MINAGRI. (2017, Junio 30). Decreto Supremo N.º Decreto Supremo N° 007-2017-MINAGRI.
538 Normas Legales 20170630.
- 539 Pandey, L. y Singh, S. (2021). Análisis numérico para el aumento de la transferencia de calor
540 en un intercambiador de calor de tubos circulares utilizando un inserto triangular perforado
541 en forma de Y. Fluidos, 6(7). <https://doi.org/10.3390/fluids6070247>
- 542 Reyes García, M., Gómez-Sánchez Prieto, I., & Espinoza Barrientos, C. (2017). Tablas
543 peruanas de composición de alimentos. In Revista de enfermería (Barcelona, Spain) (10ma
544 ed.). Instituto Nacional de Salud.
545 <https://repositorio.ins.gob.pe/bitstream/handle/20.500.14196/1034/tablas-peruanas-QR.pdf>

546 Sharma, D. K., Das, N., Singh, S. K., & Pandey, K. M. (2021). Investigación experimental sobre
547 intercambiador de calor de triple tubo concéntrico. *Materiales hoy: Actas*, 49 (xxxx), 1684–
548 1688. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.454>

549 Tangirala, A. K. (2015). *Principios de identificación de sistemas* (1ª ed.). CRC Press.
550 <https://doi.org/10.1201/9781315222509>

551 Wira, R., Herdiman, L. y Priadythama, I. (2023). Diseño e implementación de interfaz hombre-
552 máquina (HMI) para sistema de pasteurización mediante SCADA. *Web de conferencias E3S*,
553 432, 02021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343202021>

554