



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERIA
CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

Implementación de un sistema automatizado para el control de temperatura y pH en la yogurtera del CETTEPS.

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

Autor:

Moyano Orozco, Karen Lisseth

Tutor:

MSc. Luna Velasco, Daniel Alejandro

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Karen Lisseth Moyano Orozco, con cédula de ciudadanía 0605090240, autora del trabajo de investigación titulado: “Implementación de un sistema automatizado para el control de temperatura y pH en la yogurtera del CETTEPS”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 29 días del mes de mayo de 2025.

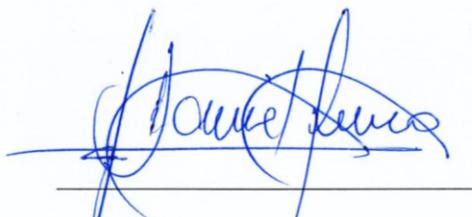


Karen Lisseth Moyano Orozco
C.I: 0605090240

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Daniel Alejandro Luna Velasco catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación Implementación de un sistema automatizado para el control de temperatura y pH en la yogurtera del CETTEPS, bajo la autoría de Karen Lisseth Moyano Orozco; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 29 días del mes de mayo de 2025



MSc. Daniel Alejandro Luna Velasco

C.I: 1713065843

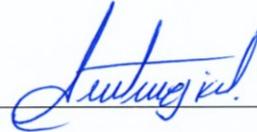
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Implementación de un sistema automatizado para el control de temperatura y pH en la yogurtera del CETTEPS, presentado por Karen Lisseth Moyano Orozco, con cédula de identidad número 0605090240, bajo la tutoría de MSc. Daniel Alejandro Luna Velasco; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, a los 29 días del mes de mayo de 2025

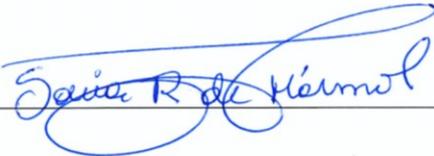
Dra. Ana Mejía López

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Dra. Sonia Rodas

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Dra. Davinia Sánchez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **Karen Lisseth Moyano Orozco con CC: 0605090240**, estudiante de la Carrera **Agroindustria**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **Implementación de un sistema automatizado para el control de temperatura y pH en la yogurtera del CETEPS**", cumple con el 3 % y 18% textos potencialmente generados por la IA, de acuerdo al reporte del sistema Antiplagio **Compilatio**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 14 de mayo de 2025



Ing. Daniel Luna, Mgs.
TUTOR

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación está dedicado a:

*A Dios por ser mi guía y fuerza
en mi proceso académico, en mis días
de felicidad y en los días de derrota.
Por ser el amor incondicional en toda
mi vida.*

*A mi mejor amigo, mi padre, Pedro Vicente
Moyano Rodríguez, que me ha brindado todo el amor
hasta sus últimos días de vida. Por ser el motor, mi
motivación y el centro de mi vida. Aunque no lo puedas
leer gracias por ser mi motivación, todos los días
procuro honrar tu vida, tratando de hacer lo mejor con
la mía. Nunca me dejaras de doler, pero agradezco ese
dolor porque sé lo que significas para mí. Un te amo
hasta el cielo...*

*A mi mamá Irene Orozco, mi gordita, por
brindarme apoyo y amor incondicional, por
enseñarme el valor de la perseverancia, gracias
por creer en mi en todo momento, te amo.*

*A mi hermano Darío, quien me ha
brindado apoyo ilimitado. Me ha enseñado
a ser paciente y a madurar en mi
personalidad. Gracias hermano.*

*A mis amigas, que han sido las
personas que a cambio de nada me
compartieron su cariño y apoyo.*

Karen Lisseth Moyano Orozco

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por haberme dado unos padres extraordinarios que han sabido educarme con amor incondicional. Gracias a Dios por bendecirme, guiarme y protegeme en cada segundo de mi vida.

Gracias infinitamente a mi papá, por ser mi mejor amigo y mi cómplice, gracias por haberme apoyado y dicho en cada momento que estas orgulloso de mi, gracias porque siempre tuviste un abrazo, una sonrisa, un te amo para mí. Gracias por enseñarme esta fortaleza tan tuya que, a lo largo de nuestra vida juntos, porque la mujer que soy hoy por hoy es un conjunto de toda la dedicación, amor y esfuerzo que me has brindado desde que era pequeña. Gracias porque tu esencia esta y perdurará en cada día de mi vida en las mariposas naranjas, en los rayos de luz, en las cartas que solíamos hacernos, y que afortunada soy de haberte tenido como padre. Gracias a mi viejito.

A mi mamá y mi hermano gracias por fortalecer esta familia por más caídas que tengamos y continuar siendo una cooperativa. Gracias por su apoyo y amor infinito, por los esfuerzos que han hecho por mí en este camino académico.

Gracias a mis docentes que a lo largo de mi vida universitaria me han compartido sus conocimientos y me han sabido guiar. En especial, agradecerle al Ing. Daniel Luna ya que su guía incondicional y destacada responsabilidad han sido fundamentales para la culminación de este proyecto, su compromiso y dedicación han marcado una huella en mi formación profesional. Al Ing. Ángel Silva gracias por siempre estar dispuesto para orientarme en este proyecto, su apertura ha sido clave para lograr mejores resultados

Karen Lisseth Moyano Orozco

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	16
1.1 Antecedentes	16
1.2 Problema.....	19
1.3 Justificación	19
1.4 Objetivos.....	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 MARCO REFERENCIAL.....	21
2.1.1 Normativas	22
2.2 MARCO TEORICO	22
2.2.1 Yogur.....	22
2.2.2 Composición nutricional del yogur	23
2.2.3 Procesamiento del yogur.....	24
2.2.4 Puntos Críticos de la elaboración del yogur	26
2.2.5 Tratamientos térmicos	27
2.2.6 Efecto de la temperatura en los distintos componentes de la leche.....	28
2.2.7 Potencial de Hidrogeno en el yogur	28
2.2.8 Automatización Industrial.....	29
2.2.9 Control automático de temperatura	29
2.2.10 Sistemas de Control que Conlleva la Automatización:	29
2.2.11 Sensor de temperatura (Termopar).....	31
2.2.12 Software de Programación LOGO!Soft Comfort:.....	31
2.3 Norma NTE INEN 09:2012.....	32

2.4 Norma NTE INEN 10: 2012.....	33
2.5 Norma NTE INEN 2395:2011.....	35
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	38
3.1 Tipo de Investigación.....	38
3.2 Diseño Experimental.....	38
3.2.1 Materiales, equipos y materia prima.....	39
3.2.2 Elaboración de yogur.....	41
3.2.3 Condiciones del proceso antes de la automatización.....	42
3.2.4 Implementación del sistema automatizado.....	43
3.3 Técnicas de recolección de datos.....	44
3.3.1 Control de calidad:.....	45
3.3.2 Análisis físico-químico.....	45
3.3.3 Análisis microbiológico.....	47
3.4 Población de Estudio y Tamaño de Muestra.....	48
3.5 Procesamiento de Datos.....	49
3.6 Métodos de Análisis.....	49
3.6.1 Análisis estadístico.....	49
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1 Control de calidad en la recepción de la leche cruda.....	50
4.2 Evaluación las condiciones de operación antes de la automatización del equipo de producción del yogur del CETTEPS.....	51
4.3 Implementación el sistema automatizado para el control y monitoreo del proceso de producción de yogur.....	54
4.3.1 Programación del sistema automatizado.....	55
4.3.2 Implementación del sistema automatizado de control de pH en la fermentación....	61
4.4 Comparación de parámetros térmicos, fisicoquímicos y microbiológicos del yogur elaborado en sistema manual y automático.....	62
4.4.1 Pruebas de normalidad.....	62
4.4.2 Tiempo y temperatura en las etapas de calentamiento e incubación de la leche.....	63
4.4.3 Control de tiempo en pH y acidez durante la fermentación.....	67

4.4.4	Análisis microbiológico en la leche pasteurizada	70
4.4.5	Sinéresis del yogur en los días 1, 7, 14, 21 y 28 de almacenamiento.....	72
4.5	Elaboración de un manual de operación para el sistema automatizado en los procesos de producción del yogur en el CETTEPS.....	74
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES		75
5.1	CONCLUSIONES	75
5.2	RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA		76
ANEXOS.....		82
MANUAL DE OPERACIÓN		87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos térmicos según la temperatura y tiempo.....	27
Tabla 2. Efecto de microorganismos y producto obtenido.....	28
Tabla 3. Requisitos fisicoquímicos establecidos en la norma NTE INEN 09:2012 para la leche cruda.....	32
Tabla 4. Requisitos microbiológicos establecidos en la norma NTE INEN 09:2012 para la leche cruda.....	33
Tabla 5. Requisitos fisicoquímicos establecidos en la norma NTE INEN 10:2012 para la leche pasteurizada.....	34
Tabla 6. Requisitos microbiológicos establecidos en la norma NTE INEN 10:2012 para la leche pasteurizada.....	35
Tabla 7. Requisitos fisicoquímicos establecidos en la norma NTE INEN 2395:2011 para leches fermentadas.....	36
Tabla 8. Requisitos microbiológicos establecidos en la norma NTE INEN 2395:2011 para leches fermentadas.....	37
Tabla 9. Materiales, equipos y reactivos para análisis físico químicos y microbiológicos .	39
Tabla 10. Materiales, equipos y softwares para el sistema automatizado.....	40
Tabla 11. Tamaño de muestra para análisis	48
Tabla 12. Resultado de parámetros de la calidad de la leche cruda.....	50
Tabla 13. Pruebas de normalidad para variables del proceso y fisicoquímicos	63
Tabla 14. Prueba de Mann-Whitney del tiempo de calentamiento y enfriamiento postfermentación	65
Tabla 15. Comparación de sistema manual y automático en etapas de Pasteurización e Incubación.....	67
Tabla 16. Comparación de tiempo en pH y acidez durante la etapa de Fermentación.....	70
Tabla 17. Comparación de parámetros microbiológicos en la leche después de la pasteurización de los dos sistemas.....	72
Tabla 18. Prueba de Mann-Whitney en los días de almacenamiento del yogur respecto a los dos sistemas.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Control Lógico Programable con sus partes y materiales	30
Figura 2. Arquitectura y componentes internos del PLC	31
Figura 3. Detección de cambios de temperatura mediante el termopar	31
Figura 4. Diagrama de elaboración de yogur	42
Figura 5. Funcionamiento interno de proceso manual	43
Figura 6. Funcionamiento interno del sistema automático	44
Figura 7. Sistema inicial del equipo manual del proceso de yogur	51
Figura 8. Retención de temperatura en la pasteurización en el Sistema manual	53
Figura 9. Retención en la etapa de Incubación en el Sistema manual	53
Figura 10. Componentes del tablero PLC	54
Figura 11. Implementación de tablero, sensor y válvulas	55
Figura 12. Programación en fase de calentamiento y pasteurización en el sistema automático	56
Figura 13. Programación de etapa de enfriado (40°C) e incubación en el sistema automatizado	58
Figura 14. Programación de etapa de enfriado (20°C) y batido en el sistema manual	60
Figura 15. Tiempo de descenso de pH en la etapa de fermentación con el sistema automatizado	62
Figura 16. Comparación de tiempo que demora en llegar a los 85°C en los dos sistemas	64
Figura 17. Comparación de tiempo de enfriamiento a 20°C en los dos sistemas	64
Figura 18. Comparación de retención de temperatura en la etapa de pasteurización en los dos sistemas	66
Figura 19. Comparación de retención de temperatura en la etapa de incubación a 40°C en los dos sistemas	67
Figura 20. Comparación de tiempo descenso del pH en la fermentación en los dos sistemas	69
Figura 21. Comparación de ascenso de acidez en la incubación en los dos sistemas	69
Figura 22. Aerobios en la leche después de la pasteurización en los dos sistemas	71
Figura 23. Coliformes en la leche después de la pasteurización en los dos sistemas	72
Figura 24. Antes y después de la implantación del tablero	82

Figura 25. Antes y después de la implementación de válvulas	82
Figura 26. Colocación del sensor en la yogurtera mediante un soporte	82
Figura 27. Diagrama de intervención de temperaturas en el yogur.....	82
Figura 28. Construcción del Control lógico programable.....	83
Figura 29. Estructura par las electroválvulas	83
Figura 30. Pruebas piloto y producciones manuales y automáticas	83
Figura 31. Pruebas en Milktester y prueba de etanol.....	84
Figura 32. Análisis microbiológico.....	84
Figura 33. Medición de pH.....	84
Figura 34. Transporte de muestras.....	84
Figura 35. Yogur embotellado.....	85
Figura 36. Programación del PLC	85
Figura 37. Bitácoras de recolección de datos	86
Figura 38. Matriz general-Datos de temperatura y tiempo	86

RESUMEN

En el Centro de Transferencia Tecnológica de Servicios y Productos (CETTEPS), se introdujo una metodología automatizada para estabilizar la temperatura en la producción de yogur, esto con la finalidad de mejorar la calidad del producto y optimizar el proceso de producción. Sin embargo, la fiabilidad de la recolección de datos especialmente en la temperatura en etapas críticas como la pasteurización y la fermentación se ve comprometida debido a la inadecuada calibración de los instrumentos, lo que compromete a la calidad del producto final. La metodología es mixta, para ello, inicia con una evaluación minuciosa del sistema manual para establecer una línea base comparativa. A partir de ello, se implementó el sistema automatizado con el sensor de temperatura programado mediante un PLC (Controlador Lógico Programable) y se reorganizó las salidas de flujo. Los parámetros evaluados en las 6 producciones (3 manuales y 3 automáticas) fueron: la estabilidad térmica en puntos críticos como la pasteurización y la fermentación, el tiempo de fermentación donde este parámetro estaba incluido la acidez y el pH, la microbiología expresada en Conteo de aerobios y Conteo de coliformes, por último, la vida útil del yogur en los dos sistemas evaluado por sinéresis. Los principales resultados, mostraron diferencias significativas entre los grupos de datos en la etapa de pasteurización con un valor-p de $4,56 \times 10^{-5}$ y en la incubación con un valor-p de $1,698 \times 10^{-4}$. Por otro lado, se controló el descenso de pH en la etapa de incubación por medio del sensor de temperatura. Finalmente, en el documento muestra un manual de operación básico donde incluye las precauciones, componentes, modo de uso, mantenimiento y solución de posibles problemas. En conclusión, el sistema automatizado mostró diferencias significativas térmicas en las etapas críticas de pasteurización y fermentación, lo que se refleja en una mejor calidad de producto, la implementación no solo optimizó el proceso productivo, sino también representa un avance tecnológico significativo en el ámbito semiindustrial del CETTEPS. Se recomienda capacitar al personal tanto práctica como con el uso del manual de operación ya que por medio de esto se evitarán accidentes tanto al operario como al equipo.

Palabras claves: Yogur, automatización, control de temperatura, calidad del producto.

Abstract

At the Center of Services and Products Technology Transfer (CETTEPS), an automated methodology was introduced to stabilize temperature in yogurt production, aiming to improve product quality and optimize the production process. However, the reliability of data collection, especially regarding temperature during critical stages such as pasteurization and fermentation, is compromised due to inadequate instrument calibration, which compromises the quality of the final product. This study has a mixed methodology; it begins with a thorough evaluation of the manual system to establish a comparative baseline; then, an automated system was implemented with a temperature sensor programmed using a PLC (Programmable Logic Controller), and the flow outlets were reorganized. The parameters evaluated in the six productions (three manual and three automatic) were thermal stability at critical points such as pasteurization and fermentation, fermentation time where this parameter included acidity and pH, microbiology expressed in Aerobic Count and Coliform Count, finally, the shelf life of yogurt in the two systems evaluated by syneresis. The main results showed significant differences between the data groups in the pasteurization stage with a p-value of 4.56×10^{-5} and incubation with a p-value of 1.698×10^{-4} . On the other hand, the pH drop in the incubation stage was controlled by the temperature sensor. Finally, the document shows a basic operation manual that includes precautions, components, mode of use, maintenance, and solutions to possible problems. In conclusion, the automated system showed significant thermal differences in the critical stages of pasteurization and fermentation, which is reflected in improved product quality. The implementation optimized the production process and represented a significant technological advance in the semi-industrial sector of CETTEPS. It is recommended that the staff be trained hands-on and in using the operating manual, as this will prevent accidents for both the operator and the equipment.

Keywords: Yogurt, automation, temperature control, product quality.



Reviewed by:
Jenny Alexandra Freire Rivera, M.Ed.
ENGLISH PROFESSOR
ID No.: 0604235036

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.1 Antecedentes

La automatización en la industria alimentaria es esencial ya que se ha evidenciado la mejora en cuanto a la eficiencia, calidad y seguridad de la producción. Su implementación optimiza los procesos, reduce errores, mejora el rendimiento de producción y aumenta la competitividad de las empresas (Suarez, 2022).

En el entorno industrial actual, la implementación de sistemas de control en los procesos productivos juega un papel fundamental para mejorar la eficiencia, la calidad y la productividad. Con el avance de la ciencia y la tecnología, la automatización de procesos y el control de procesos computarizado han ganado amplia aplicación en diversos sectores industriales, como la refinación petroquímica, el procesamiento metalúrgico y la fabricación de semiconductores (Bataev y Davydov, 2020). Estos sistemas de control permiten obtener beneficios significativos, como un mejor control del proceso que conduce a una mejor calidad del producto con una reducción de los productos defectuosos, un control de proceso automático que mejora la comprensión del proceso para los procesos técnicamente complejos y un alto rendimiento tanto para cada etapa individual del proceso como para toda la línea de fabricación (Kiran et al., 2018).

Estudios como el de Krotova et al. (2020), en la fabricación de productos tubulares para campos petrolíferos, han demostrado que la implementación de sistemas de control en los procesos productivos tiene un impacto positivo en la calidad y la confiabilidad de las plantas industriales en su conjunto. Estudios de caso en empresas manufactureras de tubería de revestimiento para pozos petrolíferos han mostrado que el desarrollo de soluciones integradas de automatización de procesos permite organizar los sistemas de producción y gestión en un espacio de información único, optimizar los flujos de información y reducir los costos de producción, lo que se traduce en una mejor rentabilidad a través de una mayor controlabilidad de la empresa y una distribución racional de todos los tipos de recursos.

En Ecuador, el sector lácteo constituye el 6,1 % de la actividad agrícola y ganadera nacional (Borja et al., 2022). Además, la provincia de Chimborazo se destaca por su relevancia en la producción agrícola y ganadera, lo que ha dado lugar a una significativa producción de leche. Esta última representa el 11,42 % del total nacional, con un promedio diario de 5.2 millones de litros hasta el año 2019. Por consiguiente, en la provincia, la leche producida en las fincas de los ganaderos se comercializa de dos formas principales: abastecimiento a centros de acopio, que luego distribuyen a grandes empresas, y elaboración de productos terminados como queso fresco y yogur en pequeñas y medianas empresas (Pymes). Según registros de la MIPRO (Ministerio de Industrias y Productividad de Ecuador), alrededor de 400 establecimientos cuentan con permiso de funcionamiento en toda la zona 3 del país (Campaña & Aguilar, 2021).

El Centro de Transferencia Tecnológica de Servicios y Productos (CETTEPS), ubicado en esta provincia, representa una de estas iniciativas que buscan tecnificar sus procesos, particularmente en la producción de yogur. A pesar del crecimiento del sector, aún

existen deficiencias tecnológicas, especialmente en el control térmico durante la pasteurización y fermentación, etapas clave del proceso de elaboración de yogur.

Según la Revista Gestión (2024) en la industria láctea, la producción de yogur ha ganado una creciente importancia, convirtiéndose en uno de los principales productos lácteos consumidos en el país. Según el Centro de la Industria Láctea (CIL), la producción diaria de leche asciende a los 5,7 millones de litros, de los cuales aproximadamente 52% corresponde a la industria formal y el 48% al sector informal. La industria formal se compone de alrededor de 70 empresas, que emplean aproximadamente a 3.000 colaboradores directos, mientras que en el sector informal comercializa leche que no siempre cumple con los estándares de calidad. Entre los desafíos que enfrenta la industria formal es la competencia desleal del sector informal, la crisis actual energética, la recesión económica, y los cambios en hábitos de consumo que afectan en la demanda de productos lácteos tradicionales. Por otro lado, la industria informal enfrenta desafíos como la falta de control en procesos, falta de tecnología, falta de inocuidad y calidad de la leche, el acceso limitado a crédito, la volatilidad de precios y la competencia con productos formales a precios más bajos. Además, Garcell et al. (2016) mencionan que, la industria enfrenta peligros biológicos que suelen introducirse durante la producción a través del uso de leche cruda de mala calidad, una pasteurización y enfriamiento inadecuada y un envasado incorrecto, lo que puede comprometer los atributos de calidad y seguridad del producto final.

En cuanto a la automatización en procesos de fermentación láctea, estudios recientes han demostrado que el uso de sensores de temperatura, controladores lógicos programables (PLC), válvulas automáticas y monitoreo en tiempo real optimiza el proceso de fermentación, reduciendo variaciones en el pH y la acidez, y garantizando la estabilidad del producto final (Rodríguez et al. 2023; Fernández y Mora, 2021). Estos avances han sido aplicados exitosamente en la producción de yogur en pequeños centros de procesamiento, mejorando la inocuidad y estandarización del producto.

Los productos lácteos fermentados frecuentemente están asociados a inquietudes sobre la seguridad microbiológica y el deterioro de los alimentos, un ejemplo representativo de enfermedades transmitidas por alimentos relacionadas con los productos lácteos incluye brucelosis, salmonelosis, listeriosis y el botulismo causado por *Clostridium botulinum*. La leche y productos lácteos representan entre el 2% y el 6% de los brotes de enfermedades en los países desarrollados (Allam et al., 2023). La importancia del sector lácteo en el Ecuador se refleja en su contribución al Producto Interno Bruto (PIB), representado aproximadamente el 1%, y al sector agrícola al 4%, además, genera empleo para más de un millón de familias y produce alrededor de USD 1.4 millones anuales a través de la producción e industrialización de leche y sus derivados (Revista Gestión, 2024).

Uno de los problemas biológicos que enfrenta el procesamiento de yogur es la pasteurización generando problemas con la calidad de los productos, la vida útil del mismo y principalmente en la salud pública. La pasteurización es un proceso térmico fundamental en la industria láctea para garantizar la seguridad y preservación de los productos lácteos, dentro de la pasteurización los que más se enfatizan son: Pasteurización LTLT (Baja temperatura en largos tiempos) 53-65° C por 30 minutos, pasteurización HTST (Altas

temperaturas en cortos tiempos) 72-85° C por 10 min que es el tipo de pasteurización utilizada en el proceso de yogur, Pasteurización a alta temperatura 120-130°C de 1-4 segundos y UHT (Temperaturas ultra altas) 135-140° C por 3 segundos (Llorente, 2023).

Shabbir et al. (2020) en su estudio del Efecto de las técnicas de procesamiento no térmico sobre los microorganismos patógenos y causantes de deterioro de la leche y los productos lácteos aseguran que la falta de control adecuado de la temperatura durante la pasteurización puede permitir la supervivencia de microorganismos patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli O157: H7*, *Bacillus cereus*, *Salmonella spp.*, entre otros. Estos microorganismos pueden representar un riesgo significativo para la salud de los consumidores debido a su potencial para producir enfermedades transmitidas por alimentos.

Adicionalmente, López-Mata et al. (2016) menciona que una pasteurización insuficiente puede permitir la supervivencia de esporas bacterianas resistentes al calor, como las de *Clostridium botulinum*, que pueden producir toxinas letales incluso en concentraciones muy bajas. Por otro lado, un exceso de calor en el proceso de pasteurización puede provocar pérdidas en el valor nutricional y sensorial de los alimentos, lo que se traduce en una menor calidad del producto final.

Humberto y Ramírez (2015) en su estudio mencionan que dentro de la industria alimentaria específicamente en la pasteurización de jugos se evidencia que el sistema mecánico anterior (manual) era obsoleto, mientras que el nuevo sistema (automatizado) mejoró la eficiencia, con el aumento de velocidad del proceso y reduciendo la regeneración de microorganismos. Durante la pasteurización del jugo de naranja, la temperatura no debe superar los 80°C, aunque en algunos casos se excedió hasta por 5°C, lo cual puede controlarse con un enfriamiento adecuado. La investigación mostró la temperatura en función del tiempo, evidenciando mejoras significativas en el proceso. La implementación del sistema centralizado redujo errores y accidentes, registró datos de manera eficiente y mejoró la calidad del producto final, cumpliendo con los requerimientos de auditoría y facilitando una retroalimentación constante.

Crespo (2022) asume que, integrar tecnología en los procesos agroindustriales con el objetivo de mejorar la calidad del producto final, mejorar el rendimiento del proceso y lograr una mayor optimización y efectividad conlleva diversas ventajas, entre las que destaca el avance y madurez en la industria ya que los resultados de la muestra de empresas Pymes del sector agroindustrial, se obtuvo un indicador de 2,06 sobre 4 en relación con los estados de la revolución industrial hasta el momento. Este valor indica que estamos aproximadamente 94 años atrás con respecto a la industria 4.0, ubicándonos entre la segunda y la tercera revolución industrial, donde prevalece la mecanización. Esto demuestra la necesidad de introducir la tecnología a la agroindustria.

1.2 Problema

En el Centro de Transferencia Tecnológica de Servicios y Productos CETTEPS de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), se cuenta con equipamiento para la elaboración de productos lácteos. Sin embargo, la fiabilidad de la recolección de datos especialmente en cuanto a temperatura en etapas críticas como la pasteurización y la fermentación, se ve comprometida debido a la inadecuada calibración de los instrumentos. Además, la interacción directa entre operarios, los instrumentos y el entorno durante el proceso productivos compromete los niveles de inocuidad, lo que evidencia en la falta de parámetros de control adecuados.

La automatización en los procesos productivos surge como una solución viable para abordar estos desafíos, con el objetivo de lograr un control preciso de los mismos y minimizar la intervención humana. Este proyecto de investigación busca implementar un sistema automatizado que permita optimizar el proceso del yogur. Para evaluar la eficiencia del sistema, se llevaron a cabo pruebas comparativas entre el sistema manual y sistema automático.

La ausencia de un control preciso y fiabilidad de los datos son problemáticas que afectan la calidad y seguridad de los productos. La implementación de un sistema automatizado no solo aspira a resolver estos problemas, sino también a establecer un nuevo estándar en la producción del yogur, garantizando la inocuidad, un mejor control de temperatura y calidad del producto final.

1.3 Justificación

La presente investigación se justifica por la contribución significativa a la optimización además de la modernización de los procesos productivos de yogur en la planta del CETTEPS, pasando de un sistema manual a uno automático. Esta transformación necesaria y prudente debido a las deficiencias que existe en el proceso actual, que comprometen la calidad como la inocuidad del producto. La investigación aporta nuevo conocimiento al comparar cuantitativamente la eficiencia entre los sistemas manual y automático mediante análisis físico-químicos y microbiológicos, generando datos empíricos que permitan establecer condiciones óptimas de producción. Los beneficios principales incluyen una mayor precisión y confiabilidad en la recolección de datos, reducción significativa de riesgos de contaminación, optimización de control de temperatura y mejora en la calidad e inocuidad del producto final.

Los beneficios directos serán para la planta del CETTEPS que mejorará sus estándares de producción, los estudiantes o practicantes estarán en condiciones seguras y controladas ya que, se contará con un manual de uso del equipo y su entorno de trabajo se mantendrá con instalaciones eléctricas seguras; por otro lado, los consumidores recibirán un producto de mejor calidad y seguridad. El cambio previsto es integral ya que abarcará la modernización tecnológica de los procesos productivos, establecimiento de protocolos más eficientes y la mejora en el producto final. La utilidad práctica de esta investigación se

evidencia en la medición estable de temperatura, reducción de contaminación por manipulación directa, entre otros. La significancia del problema radica en su impacto.

Finalmente, la viabilidad del proyecto está respaldada por su integración al “Proyecto de investigación diagnóstica, evolución y optimización de procesos de producción semiindustrial de derivados lácteos” y servirá como base para la generación de estudios más amplios.

1.4 Objetivos

General

- Implementar un sistema automatizado de control de temperatura y pH en el equipo de producción de yogur en el CETTEPS.

Específicos

- Evaluar las condiciones de operación antes de la automatización del equipo de producción de yogur del CETTEPS.
- Implementar el sistema automatizado para el control y monitoreo del proceso de producción de yogur.
- Elaborar un manual de operación para los sistemas automatizados en los procesos de producción del yogur en el CETTEPS.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 MARCO REFERENCIAL

Gallegos y Ricaurte (2016) desarrollaron un sistema automatizado para el proceso de pasteurización, lo que resultó en una reducción significativa del tiempo total de producción al mínimo, optimizando mediante el control de la válvula de desvío, permitiendo realizar el mismo volumen de leche con menos recursos. Además, también destacaron tres factores primordiales en el proceso el primero la temperatura, segundo la presión y tercero el tiempo, siendo la temperatura el más importante para eliminar agentes patógenos. Dentro del monitoreo del proceso, en los dos sistemas facilitaron la visualización del estado del proceso. La implementación de las electroválvulas en lugar de una electroválvula de $\frac{1}{4}$ de vuelta mejoró la seguridad de los operarios, evitando la exposición a altas temperaturas. Además, se destacó la reducción del consumo de combustible del caldero pirotubular en un 11,59% (4,32 litros) al mes. La automatización garantizó el cumplimiento estricto de las temperaturas de pasteurización, asegurando la calidad del producto final.

En una línea similar, Gonzales y Abanto (2021), realizaron un análisis de sistemas de refrigeración en centros de acopio de leche en el Valle del Mantaro (Perú), destacando la importancia de mantener temperaturas entre 15 °C y 13 °C para preservar la calidad microbiológica del producto. Aunque no se detalla el tipo de controlador usado, se reconoce la necesidad de un sistema automatizado para conservar eficientemente la leche desde su recolección hasta su procesamiento.

En la investigación de Gonzales y Abanto (2021) evaluaron la implementación de un sistema de control automático mediante un PLC para pasteurización de una base láctea destinada a la elaboración de helados. El sistema demostró un funcionamiento eficaz, logrando un calentamiento hasta los 85°C con una variación máxima de ± 2 °C y un enfriamiento óptimo dividido en tres fases, alcanzando los 5°C con un error de ± 2 °C. Estos parámetros cumplieron con los requisitos establecidos por la empresa donde se realizó el estudio.

Siguiendo esta línea la implementación de la automatización en la empresa PC SOLUCIONES ha demostrado ser indispensable para la mejora significativa del rendimiento de sus productos y servicios. Este avance se logró mediante la aplicación de un sistema de Gestión de Procesos de Negocio (BPM), la hipótesis alternativa general, que postula la existencia de métodos manuales ineficientes como retrasos y pérdidas económicas, fue corroborada durante el estudio. Esta confirmación subraya la esencialidad de la automatización en el contexto empresarial actual. Los resultados demuestran claramente que la transición de procesos manuales a sistemas automatizados no solo optimiza operaciones, también reduce significativamente las ineficiencias y pérdidas financieras asociadas. De esta manera se valida la necesidad crítica de la automatización para la mejora continua y la competitividad empresarial (Cordero et al., 2020).

Por su parte, Anang et al. (2017) en una planta piloto de pasteurización, probaron un controlador predictivo basado en modelos matemáticos y lo compararon con un controlador PID tradicional. Los resultados mostraron que el controlador predictivo era más eficaz, eliminando el sobreimpulso y reduciendo tanto el tiempo de estabilización como el consumo energético. Este estudio resalta la relevancia de seleccionar el tipo adecuado de controlador (como PLC con algoritmos adaptativos o predictivos) para maximizar el desempeño del proceso.

Por otro lado, en el trabajo de González y Armas (2015) presentaron la automatización del proceso de elaboración de arroz con leche en una planta de productos lácteos de una PYME. La planta incluye zonas de llenado, cocción, vaciado y retorno. Para lograrlo, se emplearon tres PLCs que se comunican entre sí mediante Profibus, utilizando el protocolo Maestro-Esclavo. Para asegurar el correcto funcionamiento del proceso, se utilizó un Sistema de Adquisición de Datos (SCADA).

En relación con los procesos de automatización y la industria 4.0, la rapidez y eficiencia en los procesos de llenado, clasificación, embalaje y transporte son fundamentales para la sostenibilidad industrial. La automatización de estos procesos mejora significativamente la eficiencia en cualquier sector; en particular, el control distribuido es ideal para plantas industriales del sector de servicios de alimentos, como la fabricación de yogures, quesos, nata, mantequilla y postres. Sin embargo, para que este enfoque tenga un sustento académico más sólido, es necesario referenciar estudios específicos. De manera general, se ha documentado que la automatización integral de procesos como el llenado, clasificación y control de calidad en la producción de yogures, quesos, natas y postres mejora la trazabilidad, la eficiencia y la inocuidad de los productos (FAO, 2022; ISO, 2021).

2.1.1 Normativas

La automatización debe cumplir con las regulaciones nacionales e internacionales en materia de seguridad y salud. En Ecuador, el Código Tecnológico Ecuatoriano (RTE INEN) 256:2013 establece los requisitos para la producción y comercialización de productos lácteos. Entre ellos se incluyen parámetros importantes como la temperatura de pasteurización. A nivel mundial, la norma de sistemas de seguridad alimentaria ISO 22000:2018 proporciona un marco para garantizar que exista un sistema integral de gestión de riesgos y mejora continua. La norma ISO 13849 también regula las funciones de seguridad de los sistemas de control (por ejemplo, PLC y sensores), que son especialmente importantes para la protección del personal en entornos cálidos. La inclusión de estas normas en el desarrollo de sistemas de automatización garantiza no sólo la eficiencia de las nuevas tecnologías sino también su legalidad y sostenibilidad a largo plazo.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Yogur

El yogur es un producto lácteo coagulado, esto se debe a la fermentación del ácido láctico causada por bacterias. Para elaborar el producto llamado yogur se utilizan *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*. Los microorganismos responsables de la fermentación láctica deben ser viables y estar presentes en una cantidad mínima de 1 x

10^{-7} colonias por litro del producto terminado en gramos o mililitros. Estas bacterias convierten parte del azúcar de la leche (lactosa) en ácido láctico. Este proceso ayuda a producir el yogur final a partir de leche concentrada (Barbio, Mena& Salas, 2017).

2.2.2 Composición nutricional del yogur

a. Hidratos de carbono

El yogur contiene muchos carbohidratos diferentes, principalmente lactosa y parte de este contenido está hidrolizado ya que los microorganismos lo utilizan como fuente de energía. Existe evidencia científica de que comer yogur puede mejorar la digestión de la lactosa y aliviar los síntomas de la intolerancia a la lactosa. En pacientes con intolerancia a la lactosa, el yogur reduce la absorción de hidrógeno después de una ingesta excesiva de lactosa, pero en individuos no alérgicos sí lo hace. No notarás mucha diferencia. La EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) acepta esta relación de causa y efecto. Además, el yogur contiene otros carbohidratos como glucosa, galactosa, glicolípidos, glicoproteínas y oligosacáridos en pequeñas dosis. Este último es conocido por sus potenciales propiedades prebióticas (Barbio, Mena& Salas, 2017).

b. Proteínas

El yogur contiene la misma cantidad de caseína que de suero, mientras que parte de la caseína se degrada durante la fermentación, las proteínas del suero como la β -Lg (beta-lactoglobulina) y las micelas de caseína se degradan. Por otra parte, entre el 90 y el 99% del suero se descompone por tratamientos térmicos, por ejemplo, durante la fermentación. El yogur contiene los mismos nutrientes que la leche. La mejor parte es que la proteína es similar a la de la leche. Y 200 gramos de alimento contienen 3,3% de proteínas (Sumi et al., 2023).

c. Lípidos

Los lípidos representan aproximadamente el 2,3% de la grasa total y el 1,5% de la grasa saturada. La mayor parte de la grasa está compuesta por triglicéridos, que constituyen el 98% de la grasa total. El resto está formado por fosfolípidos, colesterol y ácidos grasos libres (FCA-UNR, 2022).

d. Vitaminas y Minerales

La vitamina más conocida del yogur es la vitamina B. También contiene riboflavina B2, que controla el metabolismo y el almacenamiento de carbohidratos, y vitamina B12, que contribuye a la formación de glóbulos rojos (García, 2024). Los minerales incluyen calcio, que es importante para los huesos y los dientes, fósforo, que ayuda a absorber los efectos beneficiosos del calcio, y potasio, que regula la retención de agua y la presión arterial. Y por último el magnesio que desempeña un papel en la función cerebral y muscular (Angulo, 2023).

2.2.3 *Procesamiento del yogur*

a. **Recepción de materia prima**

La elaboración de yogur comienza con la recepción de la materia prima, es decir, la leche. Es fundamental que la leche sea fresca y libre de contaminantes, como antibióticos y bacterias patógenas, se realizan pruebas de calidad para asegurar que cumpla con los estándares de calidad de la normativa vigente o con los estándares requeridos en la empresa (Circuito, 2020).

b. **Pasteurización**

La pasteurización es un proceso crítico donde la leche se calienta a una temperatura de 85°C durante 15 minutos. Este paso elimina microorganismos patógenos y enzimas indeseables, lo que contribuye a una mejor conservación del producto (Shagñay, 2022).

Cortez et al. (2022) menciona que la leche contiene diversos microorganismos que pueden ser dañinos, beneficiosos o simplemente alterar el producto. La industria láctea utiliza algunos de estos microorganismos, como bacterias ácido lácticas, para crear productos fermentados con propiedades probióticas. Sin embargo, los tratamientos térmicos eliminan tanto los microorganismos beneficiosos como perjudiciales. Para la industria es un desafío lograr un equilibrio en el microbiota del producto final, maximizando los beneficios y minimizando los riesgos de contaminación. Aunque la leche puede contener varios tipos de microorganismos.

Entre los principales microorganismos asociados a brotes alimentarios por consumo de lácteos se encuentran *Campylobacter jejuni*, *Salmonella Typhimurium*, *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* y otros. Estas bacterias se clasifican en:

- **Microorganismos de temperatura media:** Crecen entre 20°C y 45°C, con un punto óptimo cerca de 35°C, por ejemplo, *Staphylococcus aureus* y *Brucella abortus*.
- **Microorganismos resistentes al calor:** Sobreviven a temperaturas cercanas a 70°C, algunos forman esporas como *B. cereus* y otros no como *Mycobacterium tuberculosis*, las esporas son difícilmente de eliminar (Cortez et al., 2022).
- **Bacterias fermentadoras de lactosa:** Producen ácido y gas al descomponer la lactosa. Se dividen en dos tipos según la temperatura a la que actúan: las que trabajan a 35°C y las que lo hacen entre 44,5°C y 45°C. *E.Coli* es un ejemplo notable de este grupo (Cortez et al., 2022).

c. **Enfriamiento**

La leche debe enfriarse a temperaturas entre 40°C y 45°C, este enfriado es crucial ya que evita la prolongación de microorganismos no deseados y preparar adecuadamente la leche para la inoculación con cultivos lácticos. Un enfriamiento inadecuado puede resultar en una fermentación no controlada, afectando negativamente el proceso y el producto final (Shagñay, 2022).

d. **Inoculación**

Es el proceso donde se añade los cultivos iniciadores a la leche enfriada. Los principales cultivos utilizados son *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, estos macroorganismos son responsables de fermentar la leche produciendo ácido láctico. Generalmente se utilizan entre 2% y el 3% de cultivos iniciadores respecto al volumen total de la leche (Shagñay, 2022).

e. **Incubación**

La mezcla inoculada se mantiene a una temperatura controlada durante un periodo específico en esta etapa. La temperatura ideal para la incubación es de entre 40°C y 45°C durante aproximadamente de 4 a 6 horas. Durante este tiempo se da la fermentación el cual es un proceso bioquímico donde para producir ácido láctico los azúcares deben descomponerse, este proceso se lleva a cabo por bacterias ácido lácticas y es común en productos de derivados lácteos. Las bacterias ácido lácticas son microorganismos Gram Positivos con la capacidad de fermentar los carbohidratos creando ácido láctico como un proceso metabólico (Rollán et al., 2019).

El descenso del pH (alrededor de 4,6) provoca la coagulación de las proteínas lácteas, formando así una estructura gelatinosa característica del yogur. Es importante monitorear tanto el tiempo como la temperatura para evitar una sobrefermentación o subfermentación (Shagñay, 2022).

Lucey, (2017) divide en 3 fases fisicoquímicas principales en la fermentación láctica:

- **Fase inicial (hasta pH 6,0):** Se produce una acidificación lenta resultado de la adaptación de los microorganismos, también se evidencia una reducción en la repulsión electrostática entre las micelas de caseína.
- **Fase intermedia (pH 6,0 a 4,9):** aquí ocurre la neutralización progresiva de la carga de las micelas y la solubilización del fosforo de calcio coloidal. Aquí se evidencian subfases ya que existen equilibrios microbianos y efectos tampón.
- **Fase final (pH<4,6):** la carga micelar disminuye hasta alcanzar el punto isoeléctrico de las caseínas. La velocidad de acidificación disminuye, en su mayoría en muestras con altas concentraciones proteicas.

La concentración inicial de proteínas influye en la dinámica del proceso de fermentación, afectando tanto la velocidad de acidificación como la duración de cada fase. Los equilibrios entre estreptococos y lactobacilos desempeñan un papel crucial en el proceso, siendo modulados por el pH y la composición del medio.

f. **Batido**

Una vez alcanzado el nivel de acidez, se procede al batido del yogur. Este proceso mezcla uniformemente los integrantes y ayuda a enfriar el producto final a aproximadamente 20°C. también mejora la textura del yogur al romper cualquier grumo formado durante la

coagulación. En esta fase se pueden incorporar otros ingredientes como frutas, azúcares o saborizantes, lo que permite diversificar los productos ofrecidos al consumidor (Shagñay, 2022).

g. **Envasado**

Es crucial realizar este paso bajo estrictas condiciones higiénicas para evitar cualquier tipo de contaminación que pueda comprometer la seguridad alimentaria. Se utilizan envases diseñados para preservar las propiedades organolépticas del yogur, así como su vida útil. Los envases deben ser herméticos y permitir una fácil manipulación por parte del consumidor (Shagñay, 2022).

h. **Refrigeración**

La refrigeración debe mantenerse a temperaturas cercanas a 5°C para conservar las características organolépticas y microbiológicas del producto durante su vida útil. Un almacenamiento inadecuado puede llevar al crecimiento microbiano no deseado y a una disminución en la calidad del yogur (Shagñay, 2022).

2.2.4 Puntos Críticos de la elaboración del yogur

En el estudio de Implementación de HACCP en la producción de yogur realizados por Aslani et al. (2024), mencionan los siguientes puntos críticos:

- a. **Control de calidad:** Es esencial realizar un control riguroso para asegurar que la materia prima esté libre de contaminantes físicos (piedras, plásticos, pelo, entre otros), contaminantes químicos (antibióticos, pesticidas) y biológicos (bacterias patógenas como Salmonella y Listeria). La implementación de un Sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control permite identificar y evaluar estos riesgos desde el inicio del proceso. La leche debe ser almacenada a temperaturas adecuadas para evitar la proliferación de microorganismos. Las condiciones deben ser monitoreadas continuamente para asegurar que se mantengan dentro de los rangos óptimos.
- b. **Pasteurización:** Esta etapa elimina los macroorganismos patógenos y reduce la carga microbiana total, lo que es crucial para la seguridad. Un fallo en este proceso puede resultar en un yogur contaminado que representa un riesgo para la salud.
- c. **Enfriado:** La leche debe ser enfriada a temperaturas entre 4°C a 5°C. un enfriamiento inadecuado puede favorecer el crecimiento de microorganismos indeseables. Afectando negativamente el sabor y la textura del yogur.
- d. **Incubación:** La etapa de fermentación debe mantenerse a temperaturas de entre 40°C a 45°C durante un tiempo determinado donde se produce ácido láctico, lo que provoca disminución de pH. Aquí interviene la temperatura ya que la inestabilidad de temperatura provoca la propagación de microorganismos, creación de suero en la superficie lo que refleja una mala fermentación.
- e. **Envasado:** El desinfectar los envases es importante para eliminar cualquier tipo de contaminación cruzada.

2.2.5 Tratamientos térmicos

El tratamiento en alimentos es un proceso de calentamiento y enfriamiento controlado que busca principalmente eliminar microorganismos dañinos e inactivar enzimas que degradan los alimentos. Aunque este proceso tiene beneficios para la seguridad alimentaria, también presenta desventajas como alteración de la calidad sensorial, reducción del valor nutritivo y cambios en textura, sabor y aroma. A pesar de estos inconvenientes, la pasteurización y esterilización por calor siguen siendo métodos eficaces, económicos y seguros para conservar alimentos. La industria alimentaria continúa investigando como optimizar estos procesos para maximizar la eliminación de patógenos mientras se minimizan los efectos negativos en las propiedades de los alimentos (González Urbina, 2023).

a. Pasteurización

La pasteurización es un método térmico utilizado en la industria alimentaria para procesar líquidos, particularmente la leche y sus derivados. Este proceso tiene como objetivo principal eliminar microorganismos patógenos y reducir la carga microbiana en general, con el fin de aumentar la seguridad y prolongar la vida útil del producto. Se aplica calor a temperaturas que varían entre 60°C y 85°C, por debajo del punto de ebullición, durante un periodo determinado, seguido de un enfriamiento rápido.

Entre los métodos más comúnmente utilizados se encuentra HTST (Temperaturas altas, cortos tiempos) y el LTLT (Bajas temperaturas y largos tiempos). Este procedimiento preserva los nutrientes de manera más efectiva que la esterilización, aunque no elimina todas las bacterias ni esporas, por lo cual los productos pasteurizados suelen necesitar refrigeración. La pasteurización es esencial para garantizar la seguridad alimentaria, al mismo tiempo que se conserva la mayor parte de la calidad original del producto (González Urbina, 2023).

Tabla 1.

Tratamientos térmicos según la temperatura y tiempo.

Tratamiento	Temperatura	Tiempo
Termización	57°C-68°C	15 s
Pasteurización LTLT	63°C	30 min
Pasteurización HTST	72°-74°C	15-30 s
Pasteurización a alta temperatura	120°C-130°C	1 s-4 s
UHT (indirecto)	135°C-140°C	3 s-5 s
UHT (directo)	135°C-140°C	3 s-5 s

Nota. Adaptado de (Reales, 2021)

Tabla 2.*Efecto de microorganismos y producto obtenido*

Tratamiento térmico	Efecto sobre microorganismo	Producto obtenido
Terminación	Reducción de bacterias psicrótrofas	Leche cruda
Pasteurización	Inactivación de bacterias mesófilas y reducción de coliformes	Leche pasteurizada
Pasteurización a alta temperatura	Inactivación de esporas de bacterias psicrótrofas	Leche UHT
UHT	Inactivación de bacterias termodúricas y esporas	

Nota. Adaptado de (Reales, 2021)

2.2.6 Efecto de la temperatura en los distintos componentes de la leche

Fernández (2015), sostiene que los tratamientos térmicos aplicados a la leche provocan modificaciones en sus componentes, tales como la lactosa, las proteínas, las vitaminas y las enzimas, tal como se describe a continuación:

Los cambios en la lactosa son notables bajo tratamientos térmicos. La reacción de caramelización ocurre a temperaturas superiores a 90°C durante más de 30 minutos, produciendo ácidos, principalmente ácido fórmico en un 50-70%. Por otra parte, la reacción de Maillard ocurre cuando la lactosa interactúa con grupos amino, causando pérdida de proteínas y oscurecimiento al someterse a 107,2°C durante 30 minutos. Las proteínas presentan comportamientos diversos: las micelas de caseína mantienen estabilidad hasta 140°C, mientras que las proteínas del lactosuero son altamente termolábiles y sufren intensa desnaturalización a 80°C.

En cuanto a otros componentes, las vitaminas B1, C y B12 experimentan mayores modificaciones por su baja resistencia térmica, soportando únicamente temperaturas inferiores a 55°C. Respecto a las enzimas, la lactasa muestra sensibilidad al calor, siendo la lipoperoxidasa la más termolábil. Es interesante destacar que algunas enzimas pueden reactivarse después de tratamientos térmicos, como es el caso de la fosfatasa alcalina, cuya temperatura óptima de reactivación es de 32°C.

2.2.7 Potencial de Hidrogeno en el yogur

Durante la elaboración de yogur, el pH de la leche, que inicialmente oscila entre 6,5 y 6,7, se reduce para alcanzar el nivel de pH característico de yogur. Esta reducción del pH es fundamental para conferir el sabor y aroma distintivos del producto. El pH del yogur final

generalmente se encuentra entre 4 y 4,5, y debe mantenerse entre 4,0 y 4,4 para asegurar una mayor vida útil del producto.

El metabolismo de los microorganismos del ácido láctico contribuye a una disminución del pH del yogur durante el almacenamiento, incluso cuando la temperatura es inferior a 5°C. El pH del yogur después del almacenamiento está estrechamente relacionado con la viabilidad de las cepas probióticas vivas, las cuales son indicativas de la vida útil del yogur. Las desviaciones de pH deseado pueden resultar en una reducción de la vida útil del producto o en la producción de un yogur con una acidez excesiva (Vásquez-Villalobos et al., 2015)

2.2.8 Automatización Industrial

La automatización puede entenderse como el uso de diversas tecnologías y equipos con el propósito de disminuir el tiempo de producción y carga laboral, buscando así un mínimo compromiso por parte de los empleados, dado que estas tecnologías poseen un bajo margen de error. La automatización industrial está conformada por un conjunto de herramientas que no solo incrementan la producción, sino que también pueden integrarse para optimizar y aumentar aún más la eficiencia productiva (Robayo, 2016).

2.2.9 Control automático de temperatura

El sistema de control de temperatura automatizado da una solución independiente que mantiene la temperatura de un proceso dentro de límites predefinidos sin requerir intervención humana continua. Este sistema utiliza sensores, como termocupla para medir la temperatura de manera continua; procesadores, como controladores lógicos programables (PLCs), para analizar los datos y tomar decisiones basadas en la programación; y actuadores, como electroválvulas, para ejecutar las acciones necesarias de ajuste térmicos. Por ejemplo, en un proceso de calentamiento por vapor, el sistema puede regular automáticamente el flujo de vapor mediante la apertura o cierre de válvulas. Esta automatización elimina la necesidad de monitoreo y ajuste manual constante por parte de los operarios, resultando una mejora significativa en la precisión, eficiencia y consistencia de control de temperatura en entornos industriales (Olmedo et al., 2020).

2.2.10 Sistemas de Control que Conlleva la Automatización:

2.2.10.1 PLC (Controlador Lógico Programable) Un controlador lógico programable es un dispositivo electrónico que puede programarse en un lenguaje distinto al lenguaje informático. A diferencia de los sistemas operativos, un ordenador es un ordenador diseñado para fines industriales. Y hay recursos como procesadores, memoria y puertos.

El uso de PLC permite controlar y proteger procesos industriales, así como monitorias y diagnosticar condiciones que pueden ser visualizadas en una HMI o una red de control superior. Este dispositivo de control digital emplea memoria para almacenar internamente instrucciones que realizan ciertas funciones, tales como operaciones de registro, operaciones lógicas, cronometraje, conteo. Los PLC también manejan entradas y salidas digitales analógicas (SRC,2024).

Figura 1.

Control Lógico Programable con sus partes y materiales



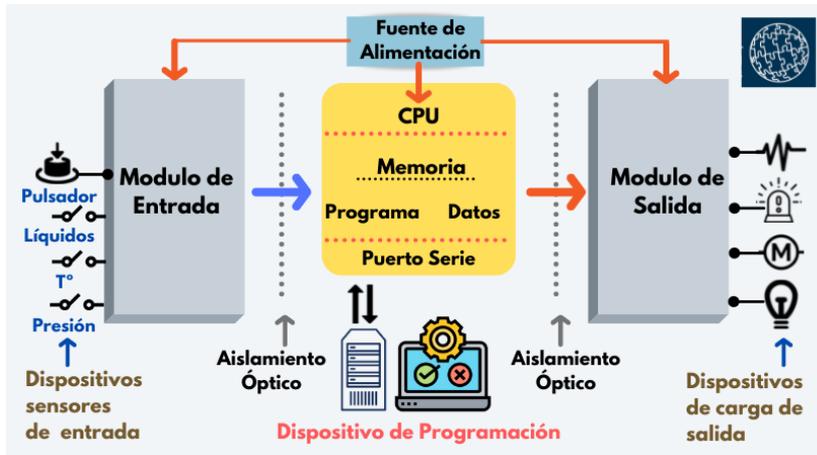
Nota. Tomado de PLC LOGO de Siemens Teoría y Practicas, 2020

2.2.10.2 **LOGO** Un logo es un dispositivo diseñado para abordar tareas de automatización en el ámbito doméstico y de instalación. Este dispositivo incorpora un registro de funciones básicas y especiales que permiten implementar diversas soluciones de automatización de baja complejidad. Su tamaño compacto lo hace ideal para un cableado sencillo y su montaje se realiza principalmente en carriles DIN de armarios de bajo volumen (Perea. A, 2022).

2.2.10.3 **Arquitectura del PLC** En GSL Industrias (2022) se utilizan componentes y circuitos electrónicos para fabricar tableros automatizados. Además de todas estas funciones del PLC, la arquitectura del PLC consta de cinco componentes: Memoria, CPU, Dispositivos de entrada, Dispositivos de salida y Fuente de alimentación, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2.

Arquitectura y componentes internos del PLC



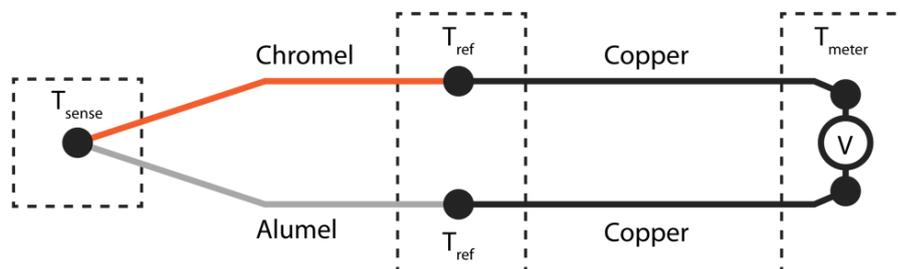
Nota. Tomado de (Sicma, 2022)

2.2.11 Sensor de temperatura (Termopar)

Es una aleación de dos metales diferentes. Cuando estos metales se calientan, el voltaje a través de ellos alcanza milivoltios, lo que hace que su temperatura aumente. Este voltaje se basa en el cambio de temperatura entre dos puntos de referencia llamados "punto caliente" y "punto frío" (VVA Instrumentos, 2024).

2.2.11.1 **Termocupla tipo J (rango de temperatura 0-300°C)** Los termopares funcionan como el efecto Seebeck. El efecto Seebeck es un fenómeno en el que se crea una pequeña corriente eléctrica cuando dos metales diferentes se juntan en los extremos opuestos y se produce una transferencia de calor. Este proceso es pasivo, por lo que no se requiere energía en el acondicionador de señal (Información Técnica - TC S.A., 2019).

Figura 3. Detección de cambios de temperatura mediante el termopar



Nota. Tomado de Dewesoft, 2023

2.2.12 Software de Programación LOGO!Soft Comfort:

Melendez Galindo (2023), describe la siguiente definición de LOGO en sus versiones y funciones. El LOGO! Soft Comfort es una aplicación informática que facilita la creación de programación en el ordenador, destacándose por ser multilingüe. Esta herramienta

permite programar todos los módulos pertenecientes a la serie LOGO. Sus funciones comprenden la creación y simulación de programas, simulación, monitoreo en línea, transferencia de programas y creación de informes.

2.3 Norma NTE INEN 09:2012

Especificaciones de calidad de la leche cruda.

La NTE INEN 09:2012 como muestra en la Tabla 3 y 4, establece los requisitos que deben cumplir la leche cruda destinada al consumo y procesamiento, garantizando su calidad e inocuidad. Esta norma define parámetros físicos, químicos, microbiológicos y sensoriales, además de condiciones de manejo. Su cumplimiento es esencial para asegurar productos lácteos seguros y fortalecer la cadena de valor del sector lechero ecuatoriano.

Tabla 3.

Requisitos fisicoquímicos establecidos en la norma NTE INEN 09:2012 para la leche cruda

Requisitos	Unidad	Min	Max	Método de Ensayo
Densidad relativa:				
A 15°C	-	1,029	1,033	NTE INEN 11
A 20°C		1,028	1,032	
Materia grasa	%(fracción de masa)	3,0	-	NTE INEN 12
Acidez titulable como ácido láctico	%(fracción de masa)	0,13	0,17	NTE INEN 13
Sólidos totales	%(fracción de masa)	11,2	-	NTE INEN 14
Sólidos no grasos	%(fracción de masa)	8,2	-	*
Cenizas	%(fracción de masa)	0,65	-	NTE INEN 14
Punto de congelación	°C	-	-	
(punto crioscópico) **	°H	0,536	0,512	NTE INEN 15
		-	-	
		0,555	0,530	
Proteínas	%(fracción de masa)	2,9	-	NTE INEN 16

Ensayo de reductasa (azul de metileno) ***	h	3	-	NTE INEN 018
Reacción de estabilidad proteica (Prueba de alcohol)	Para leche destinada a pasteurización: no se coagulará por adición de un volumen igual de alcohol neutro de 68% en peso o 75% en volumen; y para la leche destinada a ultra pasteurización: No se coagulará por la adición de un volumen igual de alcohol neutro de 71% en peso o 78% en volumen			1500

Nota. Adaptado de Requisitos de la leche cruda (INEN, 2012)

Tabla 4.

Requisitos microbiológicos establecidos en la norma NTE INEN 09:2012 para la leche cruda

Requisitos	Límite máximo	Método de ensayo
Recuento de microorganismos aeróbios mesófilos REP, UFC/cm ³	1,5 x 10 ⁶	NTE INEN1529:5
Recuento de células somáticas /cm ³	7,0 x 10 ⁵	AOAC-978.26

Nota. Adaptado de Requisitos de la leche cruda (INEN, 2012)

2.4 Norma NTE INEN 10: 2012

Especificaciones de calidad de la leche pasteurizada en Ecuador.

En la Tabla 5 y 6 muestra la normativa NTE INEN 10: 2012, donde establece los requisitos de calidad e inocuidad para la leche pasteurizada destinada al consumo humano. Esta norma regula aspectos fisicoquímicos y microbiológicos, asegurando que el producto final conserve sus propiedades nutricionales y sea seguro para el consumidor. Su aplicación garantiza buenas prácticas en el procesamiento y comercialización de leche pasteurizada en Ecuador.

Tabla 5.

Requisitos fisicoquímicos establecidos en la norma NTE INEN 10:2012 para la leche pasteurizada

Requisitos	Unidad	Entera		Método de ensayo
		Min	Max	
Densidad relativa				
15°C	-	1,029	1,033	NTE INEN 11
20°C	-	1,028	1,032	
Contenido de grasa	%(fracción de masa)	3,0	-	NTE INEN 12
Acidez titulable como ácido láctico	%(fracción de masa)	0,13	0,18	NTE INEN 13
Sólidos totales	%(fracción de masa)	11,30	-	NTE INEN 14
Sólidos no grasos	%(fracción de masa)	8,30	-	*
Cenizas	%(fracción de masa)	0,65	0,80	NTE INEN 14
Punto de congelación	°C	-	-	
	°C	0,536	0,512	NTE INEN 15
(punto crioscópico)	°H	-	-	
	°H	0,555	0,530	
Proteína	%(fracción de masa)	2,9	-	NTE INEN 16

Nota. Adaptado de Requisitos para la leche pasteurizada (INEN, NORMA TECNICA ECUATORIANA, 2012)

Tabla 6.

Requisitos microbiológicos establecidos en la norma NTE INEN 10:2012 para la leche pasteurizada

Requisito	N	m	M	c	Método de ensayo
Recuento de microorganismos mesófilos UFC/cm ³	5	30 000	50 000	1	NTE INEN 1 529-5
Recuentode coliformes UFC/cm ³	5	<1	10	1	AOAC 991.14
Detección de Listeria monocytigenes/ 25g	5	0	-	0	ISO 11290-1
Detección de Salmonella/ 25g	5	0	-	-	NTE INEN 1529-15
Recuento de Echerichia coli UFC/g	5	<10	-	0	AOAC 991.14

Nota. Adaptado de Requisitos para la leche pasteurizada (INEN, NORMA TECNICA ECUATORIANA, 2012) **n**= Número de muestras a examinar **m**= Índice máximo permisible para identificar el nivel de buena calidad **M**=Índice máximo permisibles para identificar nivel aceptable de calidad **C**=Número de muestras permisibles con resultados entre m y M

2.5 Norma NTE INEN 2395:2011

Especificaciones de la calidad de leches fermentadas en Ecuador.

La Tabla 7 y 8 de la NTE INEN 2395:2011 establece los requisitos que deben cumplir las leches fermentadas destinadas al consumo humano en el Ecuador. Esta norma técnica regula aspectos fisicoquímicos y microbiológicos, garantizando la inocuidad, calidad y estabilidad del producto.

Tabla 7.

Requisitos fisicoquímicos establecidos en la norma NTE INEN 2395:2011 para leches fermentadas

Requisitos	ENTERA		SEMI DESCREMADA		DESCREMADA		METODO DE ENSAYO
	Min %	Max %	Min %	Max %	Min %	Max %	
Contenido de grasa	2,5	-	1,0	<2,5	-	<1,0	NTE INEN 12
Proteína %m/m en yogur	2,7	-	2,7	-	2,7	-	NTE INEN 16
Alcohol etílico %m/v en	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	
kéfir suave	-	3,0	-	3,0	-	3,0	NTE INEN 379
kéfir fuerte	0,5		0,5	-	0,5	-	
Kumis							
Presencia de adulterantes ¹⁾	Negativo			Negativo		Negativo	NTE INEN 1500
Grasa vegetal	Negativo			Negativo		Negativo	NTE INEN 1500
Suero de leche	Negativo			Negativo		Negativo	NTE INEN 2401
Adulterantes: Harina y almidones (Excepto los almidones modificados) soluciones salinas, suero de leche, grasas vegetales.							

Nota. Adaptado de Requisitos para leches fermentadas INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2011).

Tabla 8.

Requisitos microbiológicos establecidos en la norma NTE INEN 2395:2011 para leches fermentadas

Requisito	n	m	M	c	Método de ensayo
Coliformes totales UFC/g	5	10	100	2	NTE INEN 1529-7
Recuento de E. Coli, UFC/g	5	<1	-	0	NTE INEN 1529-8
Recuento de Mohos y levaduras	5	200	500	2	NTE INEN 1529-10

Nota. Adaptado de Requisitos para leches fermentadas, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2011). n (número de muestras a examinar), m (Índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad), M (Índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad), c (Numero de muestras permisibles con resultado entre m y M)

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1 Tipo de Investigación.

La metodología de esta investigación es mixta, cualitativo ya que se evaluó los sistemas de control, de esta manera, se sabe si cumple o no con los objetivos, se realizó una inspección visual, del estado en el que se encuentra el equipo de elaboración de yogur y las condiciones del flujo de vapor y agua fría además de las salidas de los mismos flujos, antes y después de la automatización. Es cuantitativo porque se determinó variables numéricas como la temperatura, tiempo, datos microbiológicos y fisicoquímicos, mismos que ayudaron, por medio de un análisis estadístico, comprobar si hay diferencia estadísticamente significativa.

Además, es una investigación experimental y exploratoria porque se probará un diseño de control específico para el equipo de yogur en el CETTEPS y se valorarán algunas variables de control de procesos.

3.2 Diseño Experimental

La presente investigación se fundamentó en un análisis comparativo de los parámetros operacionales durante las etapas críticas del proceso de elaboración el yogur, como la pasteurización donde intervino la variación de temperatura, considerando tanto el sistema actual como el sistema automatizado propuesto. Los objetivos operativos comprendieron a la caracterización sistemática del proceso manual mediante la recolección de datos operacionales, la implementación y validación del sistema automatizado para el control y monitoreo de procesos y finalmente el desarrollo de un manual integral del sistema propuesto.

El diseño experimental marcó un protocolo que comprende la realización de seis lotes de producción con las mismas condiciones de elaboración del producto, distribuidos entre el sistema manual (n=3) y el sistema automatizado (n=3) contando con el control de calidad adecuado para aceptar la materia prima.

Para dar cumplimiento al primer objetivo se evaluó las condiciones iniciales en las que se encuentra el equipo, los flujos de vapor y agua fría, así como las salidas de flujos y el estado inicial de las válvulas. Para cada lote de producción manual se midió la temperatura manualmente en todas las etapas de producción cada minuto con el termómetro digital de HANNA Modelo: HI98501. Además, la evaluación de la fermentación por medio del pH tomado muestras cada 15 minutos y midiéndolas con el potenciómetro digital Marca: EXTECH Modelo: EX-RE300, también la acidez expresada en ácido láctico por medio de volumetría de acidez cada 15 minutos. Por otro lado, el análisis microbiológico se evalúa con el Conteo total de aerobios y Conteo total de coliformes mediante Petri films de la marca 3M, muestras que serán sacadas de la leche cruda y leche pasteurizada, por último, se harán pruebas de sinéresis mediante la centrifuga GYROCEN Modelo: 406 G en los días de almacenamiento 1,7,14,21 y 28 corroborando la vida útil del producto.

El segundo objetivo corresponde a la implementación del sistema automatizado donde se cambiaron las válvulas por electroválvulas para la entrada y salida de los flujos, la construcción del tablero con el PLC, la colocación de la termocupla y la programación en el software LOGO! Confort Soft V8.0 y V8.3. Este objetivo contempló la instalación del sistema automatizado para el control de temperatura y pH, mediante la ejecución de múltiples pruebas de calibración y validación del funcionamiento del sistema, la optimización de parámetros operativos y una fase de validación general que comprende la ejecución de las producciones experimentales para establecer el tiempo adecuado del pH en la fermentación. Además, se realizaron los mismos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que, en las producciones manuales a excepción de la temperatura, ya que este parámetro funciona automáticamente con el sistema implementado.

Por último, se elaboró un manual básico de operación del sistema implementado donde contará el alcance, introducción, componentes y accesorios, modo de uso, mantenimiento y solución a posibles problemas.

3.2.1 Materiales, equipos y materia prima

En la tabla 9 se listan los materiales equipos y reactivos para a la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el sistema manual y automático. Por otro lado, la tabla 10 muestra los materiales, equipos, programas utilizados para la implantación del tablero:

Tabla 9.

Materiales, equipos y reactivos para análisis físico químicos y microbiológicos

Parámetro	Reactivo	Equipo	Marca	Material
Temperatura	-	Termómetro	Termómetro digital tipo punzón marca: HANNA Modelo: HI98501	Vaso de precipitación
pH	-	Potenciómetro digital	Marca: EXTECH Modelo: EX-RE300	Vaso de precipitación
Acidez	NaOH 0.1 N Fenolftaleina 4%	Bureta automática	Marca: BRAND™ Modelo: 47604 51	Vasos de precipitación
Densidad				
Solidos totales	-	Milktester	Marca: MASTER ECO	Vaso de precipitación
Grasa				

Proteína				Modelo:Eco
Lactosa				
Estabilidad del Etanol	Alcohol al 70%	-	-	Tubos con tapa
Sinéresis	-	Centrífuga	Marca: GYROCEN Modelo: 406 G	Tubos de centrífuga Vasos de precipitación Probeta
Aerobios Totales	Agua de Peptona	Cámara de flujo	Marca: BIOBASE Modelo: BBS-H1300	Petrifilm Esparcidor de Petrifilm Tubos con tapa
Coliformes Totales		Incubadora	Marca: MERMET Modelo: I Incubador	Gradilla Micropipetas Jeringas Guantes Mascarilla
		Autoclave	Marca: All American Modelo: 75X-120V	Cofia Alcohol

Tabla 10.

Materiales, equipos y softwares para el sistema automatizado

Equipos	Materiales	Softwares
PLC LOGO 8 12/24RC 12/24VDC 4DI-4AI-4OUT RELE	Bitácoras	LOGO Soft Confort v8.0
Módulo de expansión LOGO DM8 12/24R	Bolígrafos	LOGO Soft Confort v8.3
Módulo de expansión LOGO AM2 RTD 12/24VDC	Caja de herramientas	Excel
Fuente de poder panel 60W 24V 2.5A 110/220VAC	Cable de internet	R Studio

Gabinete metálico liviano 40X30X20CM IP41	Internet
Sensor de temperatura	Laptop
Electroválvula 2/2 110VAC 3/4	
Termómetro manual	
Cronómetro	
Yogurtera	

Nota. PLC (Controlador Lógico Programable).

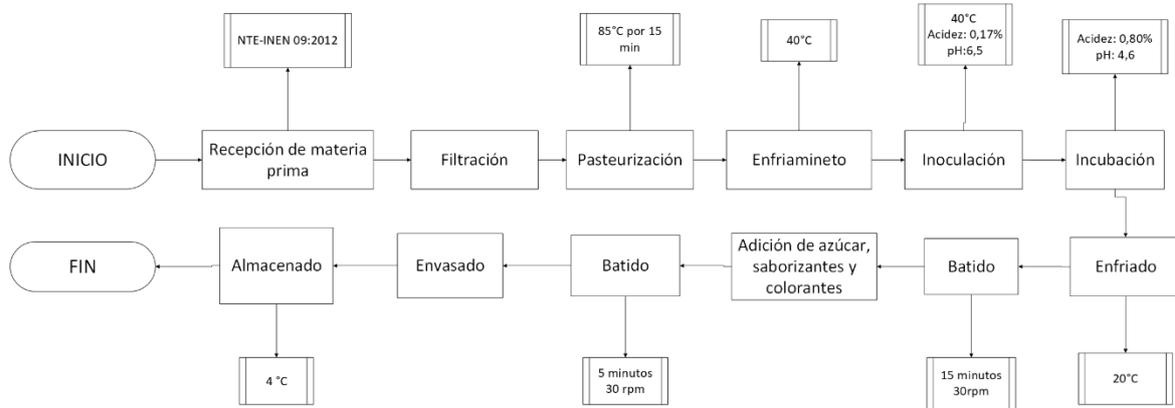
3.2.2 Elaboración de yogur

En la figura 4 muestra el diagrama de elaboración de yogur que se utiliza tanto en la producción manual como automática:

1. Inicia con la recepción y control de calidad de la materia prima, con los parámetros tomados de la NTE INEN 09:2012 de los requisitos de la leche cruda.
2. Por medio de una tela para filtrar leche, se filtra los 50 litros de leche, eliminando gran parte de contaminantes físicos (pelos, plástico, piedras, arena, entre otros).
3. Se pasteuriza la leche a 85°C por 15 minutos.
4. Después de la pasteurización, la temperatura desciende hasta los 40°C.
5. Se inocula 10 unidades (10 gramos) de fermento de la marca YF-L811 con las bacterias *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus* en 1 litro de leche a 35-45°C
6. Posteriormente la mezcla inoculada se la incorpora al resto de la leche pasteurizada.
7. Luego de la inoculación, se procede a la incubación a 40°C, en esta etapa las bacterias ácido lácticas fermentan a la lactosa y se convierte en ácido láctico, además empieza a desarrollar sus propiedades organolépticas. La incubación llega hasta que el pH descienda a 4,4 -4,6 y la acidez tenga un porcentaje de 0,80%.
8. Al llegar a los parámetros anteriores de pH y acidez y haber desarrollado sus propiedades organolépticas, se baja la temperatura a 20°C.
9. Al los llegar a los 20°C, se activa el batido a 30 rpm (revoluciones por minuto) por aproximadamente 15 minutos hasta que el producto presente una consistencia homogénea.
10. Se añade almíbar, saborizantes y colorantes según sea el caso, y batir nuevamente por 5 minutos para mezclar todos los ingredientes.
11. El yogur se envasa en recipientes estériles y se almacenan en refrigeración de aproximadamente 4°C.

Figura 4.

Diagrama de elaboración de yogur

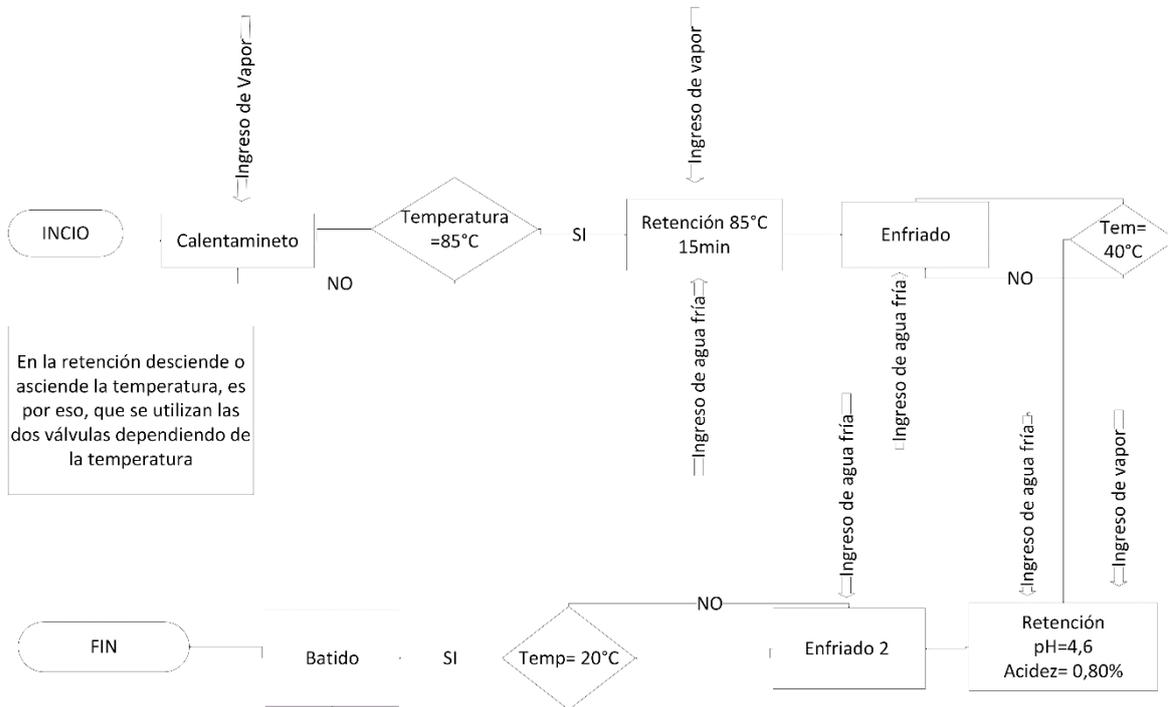


3.2.3 Condiciones del proceso antes de la automatización

Se realizó una inspección general de las condiciones en las que se encuentra el equipo, las conexiones, tuberías y válvulas. Todas las producciones se realizaron con 50 litros de leche previamente sometidos a control de calidad por medio del MILKOTESTER EQL-00239 (grasa, proteína, densidad, lactosa, conto de congelamiento), prueba del etanol, acidez y pH, los resultados de estos análisis son cotejados con los requisitos de la NTE INEN 09:2012 para saber si la materia prima es aceptada o rechazada. Por consiguiente, se filtra la leche en la yogurtera y empieza su funcionamiento interno como lo muestra en la figura 5:

Figura 5.

Funcionamiento interno de proceso manual



3.2.4 Implementación del sistema automatizado

3.2.4.1 Sistema automatizado para el control de temperatura

Se cambiaron las válvulas por electroválvulas en las diferentes tuberías para enviar el flujo de vapor de agua y el flujo de agua fría. Las electroválvulas tienen el mecanismo de que si en algún momento dejan de funcionar por daños o fallas todo el sistema deja de funcionar, la medida de solución es continuar el proceso de forma manual. Para la construcción del tablero se instaló el PLC LOGO, un módulo de expansión LOGO8, contactores, relé, interruptores termomagnéticos y una fuente de poder, estos componentes son conectados también con el sensor de temperatura Pt100. Después de este proceso se procede a la programación en las condiciones de pasteurización de 85°C por 15 minutos, el descenso de temperatura a 40°C, la retención de temperatura por tiempos prolongados, estas condiciones fueron programadas en el Software Logo!Confort Soft. El mecanismo interno del proceso automatizado se evidencia en la figura 6.

3.2.4.2 Sistema automatizado para el control de pH

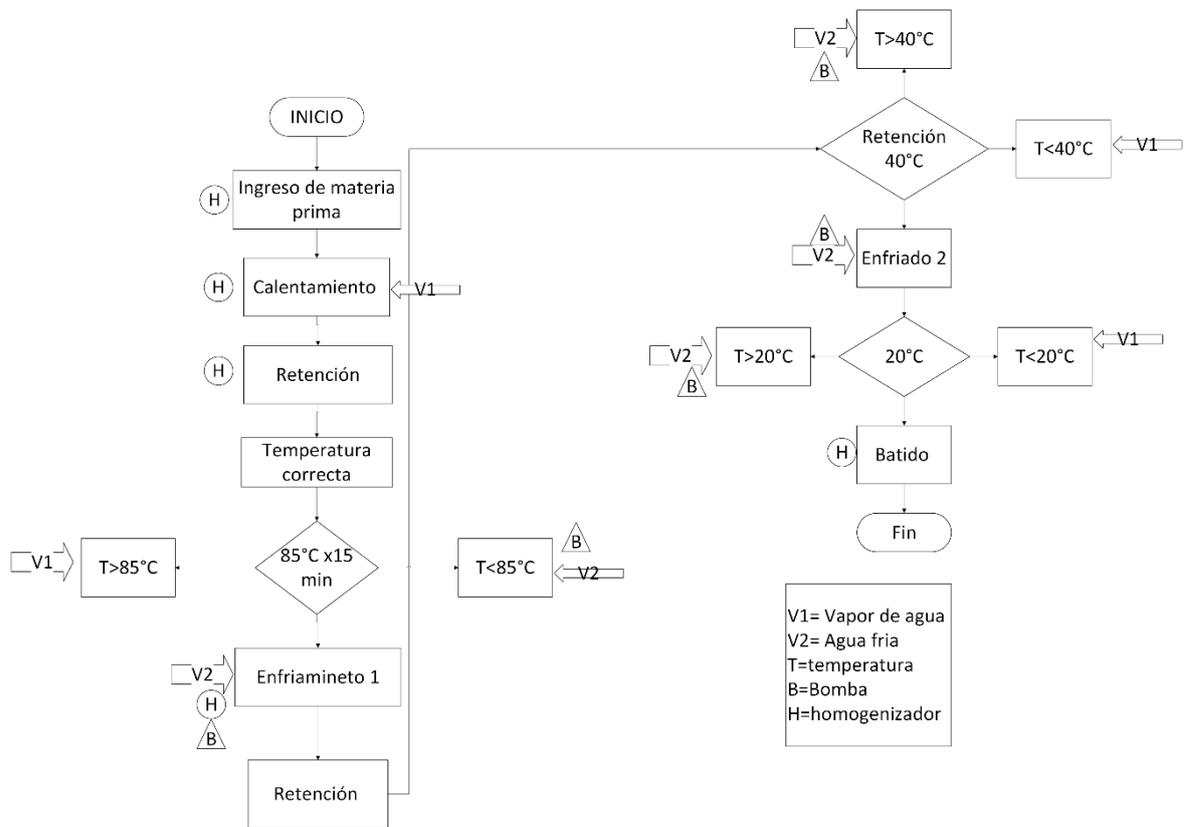
Para el sistema automatizado planteado, se realizaron 3 pruebas experimentales, con la finalidad de conocer el tiempo necesario para que el pH alcance las condiciones idóneas de 4,6 durante el proceso de fermentación, para este proceso se utilizó el fermento YF-L811

que contiene bacterias *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, en condiciones constantes y controladas de 40°C.

Una vez culminadas las 3 pruebas, se estableció el tiempo en minutos que tarda el pH en descender a 4,6 en cada una de las pruebas, llegado a un tiempo promedio, este dato se incorporó a la programación del controlador lógico programable del sistema automatizado. Esto permitió programar con precisión tanto el tiempo como la temperatura de fermentación, garantizando que en cada producción el pH alcance las condiciones adecuadas de forma consistente.

Figura 6.

Funcionamiento interno del sistema automático



3.3 Técnicas de recolección de datos

La leche se la recogió en un horario de 8h30 a 9h00 am, de un solo proveedor, misma leche que provenía de la parroquia de Licto específicamente de TUNSHI SAN NICOLAS-Riobamba. Los datos se obtuvieron de las 6 producciones (3 manuales y 3 automáticas) donde se evaluó previamente el control de calidad de la materia prima y luego parámetros como temperatura, tiempo, pH, acidez, microbiología (conteo total de aerobios y conteo total coliformes) y sinéresis.

En la elaboración del yogur se tomaron datos de temperatura principalmente en las etapas de pasteurización y fermentación en lapsos de tiempo de 1 minuto entre cada medida; en la etapa de fermentación se tomaron muestras cada 15 minutos para evaluar el tiempo con relación al aumento de acidez y al descenso de pH.

Para los análisis microbiológicos se tomaron 3 muestras de leche pasteurizada y 3 de leche fermentada de aproximadamente 5ml cada uno; finalmente se analizó sinéresis del producto final en los días de almacenamiento 1, 7, 14, 21 y 28, el producto final fue almacenado en la refrigeradora a aproximadamente 4°C.

3.3.1 Control de calidad:

La calidad de la leche cruda se analizó mediante el uso del MILKOTESTER EQL-00239, el cual nos brindó información sobre parámetros de la leche (Grasa, sólidos totales, proteína, lactosa, densidad), el procedimiento se tomó de la ficha técnica del equipo como se muestra a continuación

Primero, se debe colocar 30 ml de leche en el recipiente del equipo; luego, se selecciona la opción de leche cruda. A continuación, se presiona el botón INICIO y, seguidamente, se espera aproximadamente 1 minuto para que el equipo proyecte los resultados. Después, se realiza la lectura y se anota en la bitácora de resultados. Finalmente, se procede a limpiar el equipo por medio de la opción de lavado diario, semanal o mensual, según sea el caso (MASTER ECO - Milkotester Ltd, 2019).

3.3.2 Análisis físico-químico

Temperatura

El procedimiento de la toma de temperatura fue empleado del manual de Procedimiento de muestreo de leche en el tanque y medición de volumen y temperatura donde menciona que primero, se debe tener el termómetro estéril; luego, coloque el bulbo del termómetro digital aproximadamente 5 cm por debajo del nivel de la leche del tanque. A continuación, se espera que la temperatura del termómetro se estabilice. Finalmente, al observar la temperatura estabilizada, se realiza la lectura y se anota (Manual de Procedimiento de Muestreo de Leche - Instituto Nacional de Tecnología Industrial - Studocu, 2022.)

Acidez titulable

Para analizar la acidez expresada en ácido láctico, se toma una muestra de 20 ml y se diluyó con 40 ml de agua destilada en un matraz Erlenmeyer. A continuación, se añade 1 ml de indicador fenolftaleína al 1% y se procede a titular con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N. Durante la titulación, se debe agitar suavemente la mezcla a medida que el titulante entra en contacto con la muestra, observando el cambio de color de blanco a rosado. Una vez alcanzado el viraje, se registra el volumen de consumo del titulante. Finalmente, el porcentaje de acidez expresado en ácido láctico se calcula mediante la fórmula correspondiente:

$$\%Acidez_{Ac\ láctico} = \frac{Vt * Nt * Mee}{Vm} * 100$$

donde:

Vt= Volumen en ml de gasto del titulante

Nt= Concentración expresado en Normalidad del titulante

Mee: 0,090 miliequivalente del ácido láctico

Vm= Volumen en ml de muestra

(Cañar-Ramos et al., 2024)

Potencial de hidrogeno

Según el “Manual de funcionamiento, mantenimiento y aplicaciones pedagógicas del equipo pHmetro en el Laboratorio de Investigación en Lácteos de la Carrera de Agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi” de (Miranda et al., 2022) mencionan el siguiente procedimiento:

Para la medición de pH se utilizó un potenciómetro digital previamente calibrado con soluciones patrón de pH 4, pH 7 y pH 10. Se colocaron 50 ml de la muestra en un vaso de precipitación y se introdujo el electrodo en la muestra, asegurándose de que el sensor del instrumento quedara completamente cubierto. Se esperó unos momentos hasta que el instrumento se estabilizó y, una vez ocurrido esto, se procedió a tomar la lectura directamente del potenciómetro digital.

Estabilidad de estabilidad proteica

La NTE INEN 1500 describe el siguiente procedimiento:

Se tomó en un tubo con tapa una alícuota de 5 ml de muestra y se añadió la misma cantidad de alcohol etílico. La mezcla se homogeneizó invirtiendo el tubo dos o tres veces y se dejó reposar durante unos segundos. Transcurrido ese tiempo, se observó si se producía alguna precipitación o si la leche se mantenía estable. En caso de presencia de precipitados, la leche fue rechazada; caso contrario, fue aceptada.

Sinéresis

El siguiente procedimiento muestra cómo realizar la prueba de sinéresis en los diferentes días de almacenamiento.

Se pesaron exactamente 20 ml de yogur y se colocaron en un tubo de centrífuga. Luego, los tubos se ubicaron en la centrífuga, asegurándose de que estuvieran equilibrados para evitar accidentes. Las muestras se centrifugaron durante 20 minutos a una velocidad de 4000 rpm. Al finalizar el proceso, se retiraron los tubos y se observó el suero separado del yogur. Finalmente, se calculó el porcentaje de sinéresis mediante la relación entre el volumen de la muestra inicial y el volumen del sobrenadante (Parra, 2016).

$$\%Sinéresis = \left(\frac{\text{Peso del suero}}{\text{Peso inicial del yogur}} \right) \times 100$$

3.3.3 *Análisis microbiológico*

Para realizar el análisis microbiológico se estableció realizar diluciones para facilitar el conteo de unidades formadoras de colonias. Para la leche cruda se realizaron diluciones de 10^{-7} donde las muestras a examinarse son 10^{-1} , 10^{-3} , 10^{-5} y 10^{-7} . Para la leche pasteurizada se utilizaron diluciones de 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} .

Los procedimientos utilizados fueron extraídos de las fichas técnicas de los petrifilm de 3M (3M España, 2018).

a. **Conteo total en placa**

En un ambiente completamente estéril y siguiendo todas las medidas de inocuidad, se etiquetaron los tubos correspondientes. En cada uno se colocaron 9 ml de agua de peptona previamente preparada. Se añadió 1 ml de la muestra madre al primer tubo y se homogeneizó, obteniéndose la primera dilución. A continuación, se tomó 1 ml de esta solución y se transfirió al siguiente tubo, repitiendo el proceso de homogeneización según el número de diluciones requeridas. Luego, se colocó la placa de CA (Conteo de Aerobios) de Petrifilm sobre una superficie plana. Se levantó la película superior y, con la pipeta en posición perpendicular, se depositó 1 ml de la suspensión de muestra en el centro de la película inferior. Posteriormente, se dejó caer la película superior sobre la muestra y, utilizando un esparcidor, se presionó suavemente en el centro para distribuirla de forma uniforme. Finalmente, las placas se incubaron durante 48 ± 3 horas a una temperatura de $32 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$. Transcurrido el tiempo de incubación, se procedió al conteo de colonias en cada Petrifilm, considerando como incontables aquellas placas con más de 150 unidades formadoras de colonias (UFC).

b. **Conteo de coliformes**

Con las debidas medidas de inocuidad y en un ambiente estéril, se procedió a realizar las diluciones. Para ello, se etiquetaron los tubos y en cada uno se colocaron 9 ml de agua de peptona previamente preparada. Se añadió 1 ml de la muestra madre al primer tubo y se homogeneizó, obteniendo así la primera dilución. Luego, se tomó 1 ml de esta solución y se transfirió al siguiente tubo, repitiendo el proceso de homogeneización según las diluciones requeridas. Con la ayuda de una pipeta en posición perpendicular a la placa de Petrifilm, se colocó 1 ml de muestra en el centro de la película inferior. Con cuidado, se dejó caer la película superior para evitar atrapar burbujas de aire. Posteriormente, se colocó el esparcidor con el lado plano hacia abajo sobre la película superior, distribuyendo uniformemente el inóculo. Las placas de Petrifilm se incubaron durante 24 ± 2 horas a $32 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$ y, una vez finalizado el tiempo de incubación, se contaron las colonias utilizando un mostrador de colonias estándar u otra lupa iluminada. Se consideraron incontables aquellas placas que presentaron más de 150 unidades formadoras de colonias (UFC).

3.4 Población de Estudio y Tamaño de Muestra

El presente estudio se llevó a cabo con 6 producciones (3 manuales y 3 automáticas) de 50 litros cada uno. En el caso de la temperatura, se tomaron directamente de la yogurtera en el centro térmico, en la mitad y en la pared del equipo. La temperatura del calentamiento, pasteurización y enfriado fueron tomados cada minuto, mientras que en la etapa de fermentación se tomó la temperatura en lapsos de 5 minutos ya que la incubación dura aproximadamente 4 horas y media. Para la acidez y pH en la etapa de fermentación se tomaron muestras cada 15 minutos, en el caso de la microbiología se tomaron 3 muestras de leche cruda en frascos estériles y 3 muestras de leche pasteurizada que fueron guardados en un cooler con hielo y bolsas de hidrogel, con el fin de transportarlas hacia el laboratorio de análisis y evitar la proliferación bacteriana. Por último, se almacenó un frasco de yogur de donde tomaban 3 muestras en los días 1, 7, 14, 21 y 28 para la evaluación de la sinéresis. Todas las muestras fueron analizadas por triplicado manejándolos inocuamente, tanto el material de análisis como los equipos utilizados que fueron desinfectados y autoclavados en casos. Los parámetros y cantidades se muestran en la tabla 11:

Tabla 11.

Tamaño de muestra para análisis

TAMAÑO DE MUESTRA PARA ANÁLISIS	
Parámetro	Cantidad
Recepción de materia prima (grasa, proteína, densidad, solidos totales, lactosa y estabilidad de etanol al 70%, pH y acidez)	150 ml
pH	50ml
Acidez	9ml
Sinéresis	20ml
Conteo de aerobios	1ml
Conteo de coliformes	1ml

Cada uno de estos tratamientos se realiza por triplicado, las muestras recolectadas son etiquetadas y conservadas a temperaturas cercanas a lo óptimo.

El trabajo de investigación experimental se lo realizó en el CETTEPS donde se encuentra el equipo a automatizar. Por otro lado, los análisis se lo realizaron en el laboratorio de investigación PROANIN (Producción Animal e Industrialización, UNACH, Riobamba).

3.5 Procesamiento de Datos

Una vez recolectados los datos estos fueron codificados por cada producción ya sea manual o automática, los datos recabados y variables registradas son la temperatura, pH, acidez, tiempo, parámetros físico químicos y microbiológicos, mismos que fueron plasmados en bitácoras físicas y, por consiguiente, se digitalizó en una base de datos utilizando Microsoft Excel. Con los datos recolectados de cada uno de los parámetros se procesó en el programa estadístico IBM SPSS Statistics, donde se utilizaron los datos en su forma cruda, sin aplicar transformaciones previas, con el di mantener su integridad original.

Con los datos recolectados de cada uno de los parámetros se procesó en el programa estadístico IBM SPSS Statistics, donde se realizó las pruebas de distribución de datos. En el apartado de resultados se presenta gráficas que representen los cambios significativos.

3.6 Métodos de Análisis

Los datos recolectados fueron integrados al software IBM SPSS Statistics donde se sometieron las 3 repeticiones de sistema manual y las 3 repeticiones del sistema automático. Para cada parámetro (temperatura, tiempo, pH, acidez, coliformes totales, aerobios totales y sinéresis), a un T de Student, de este modo se apreciará de mejor manera las diferencias significativas que existe en cada parámetro analizado. En este caso, las variables independientes fueron el tipo de sistema, es decir, manual o automático, mientras que, las variables dependientes son cada uno de los parámetros.

3.6.1 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se evaluó la distribución de datos mediante pruebas de normalidad, ya que, por este medio, se seleccionó las pruebas estadísticas subsiguientes. Para los datos que no presentaron normalidad se utilizaron pruebas no paramétricas como el test de Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov. Por otro lado, en los datos que tuvieron una distribución normal se manejó la prueba paramétrica T de Student. El análisis estadístico fue procesado mediante el software IBM SPSS Statistics, misma que ofrece las herramientas para un análisis estadístico confiable.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Control de calidad en la recepción de la leche cruda

Los resultados de los análisis para control de calidad de la leche cruda en las producciones de los dos sistemas se encuentran dentro de los rangos permitidos, ya que como estándar de calidad para iniciar las producciones se debe pasar estos requerimientos, cumpliendo con la norma establecida por la INEN 09:2012.

En la tabla 12 se muestran los datos obtenidos, donde no existen diferencias estadísticamente significativas en ningún requisito, de ese modo se pudo comprobar que las 6 producciones fueron procesadas con leche relativamente en las mismas condiciones de calidad.

Tabla 12.

Resultado de parámetros de la calidad de la leche cruda

Requisitos	Unidades	Manual	Automático	P-Valor
Densidad	-	1,029±0,0012	1,028±0,00024	0,793
Grasa	% (Fracción de masa)	4,15±0,47	4,24±0,040	0,8285
Proteína	% (Fracción de masa)	3,20±0,0047	3,13±0,0535	0,5216
Sólidos totales	% (Fracción de masa)	8,72±0,1219	8,47±0,056	0,08919
Lactosa	% (Fracción de masa)	4,75±0,0616	4,60±0,049	0,05955
Punto crioscópico	°C	-0,551±0,0055	-0,538±0,00251	0,2215
pH	-	6,67±0,0378	6,65±0,03	0,4425
Acidez	% (Fracción de masa)	0,16±0,0081	0,15±0,0047	0,6495
Reacción de estabilidad	-	Negativo	Negativo	--

Nota: Valor P: Probabilidad asociada ($P < 0,05$)

La materia prima utilizada tanto en las producciones manuales como en las automáticas no difirieron entre sí. Además, según con la norma INEN 09:2012 los parámetros físico químicos para la recepción de la leche cruda en relación con los resultados se encuentra dentro de los rangos permitidos, por ende, se considera que la leche tiene buena calidad y se puede seguir el proceso de elaboración de yogur.

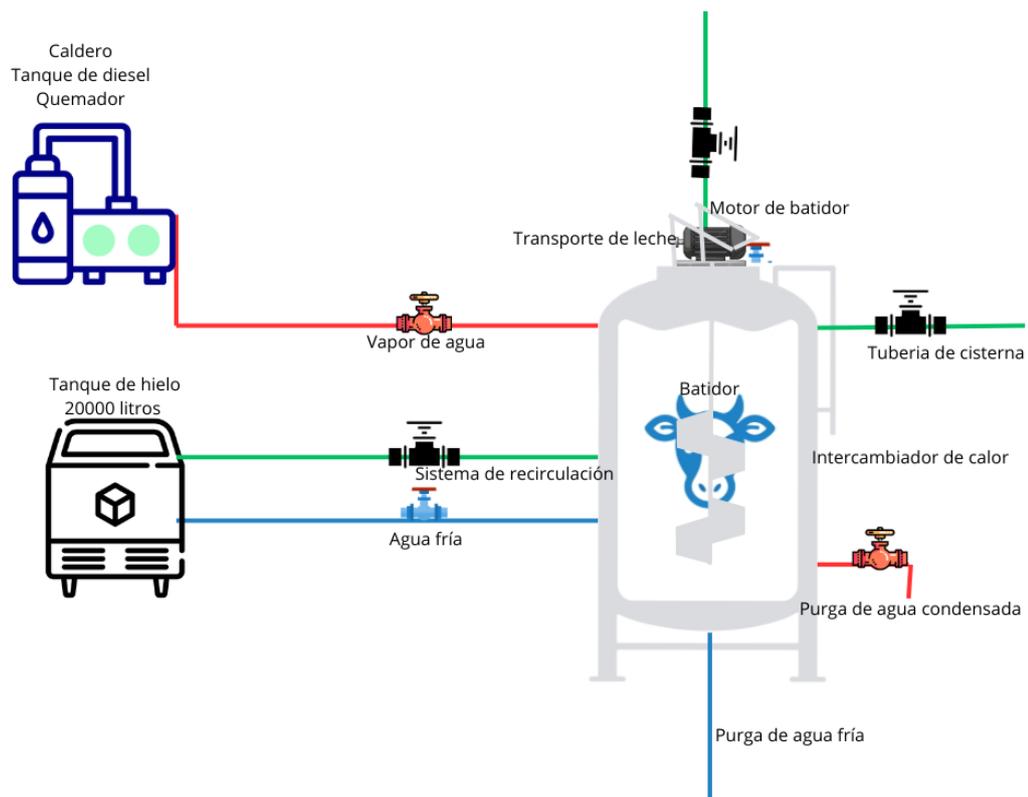
4.2 Evaluación las condiciones de operación antes de la automatización del equipo de producción del yogur del CETTEPS.

El proceso de elaboración de yogur dentro de la planta tiene etapas específicas que contemplan puntos críticos, uno de estos es la temperatura ya que en el proceso incluye el calentamiento, pasteurización, enfriamiento y retención de temperaturas, otra de las etapas es la fermentación o incubación que también está estrechamente relacionada con la temperatura.

La yogurtera es un intercambiador de calor de doble fondo de material acero inoxidable de grado alimenticio, el cual su capacidad máxima es de 150 litros. Dentro de la estructura y conexiones cuenta con válvulas de vapor de agua que proviene del caldero de 10 BHT (Brake Horsepower) a diésel el cual incluye una bomba y un quemador. La segunda válvula es de agua fría, misma que funciona en conexión con el banco de hielo de 2 000 litros que tiene rangos de temperatura de -5°C a 7°C , hay dos válvulas de purga de agua condensada y agua fría. La yogurtera cuenta con un batidor juntamente con un motor que trabaja a 110 voltios, todos estos componentes están especificados en la Figura 7.

Figura 7.

Sistema inicial del equipo manual del proceso de yogur



La Figura 8 presenta las gráficas 3 producciones manuales de retención de temperatura a 85°C por 15 minutos en la pasteurización, es decir, se evaluó la estabilidad de la temperatura en las 3 producciones. En la Figura 9 se muestra la etapa de la incubación

donde existe retención de temperatura a 40°C hasta que la leche llegue a una acidez de 0,80% y 4,6 de pH, en esta etapa también se evalúa la estabilidad y la consistencia de la temperatura.

Además, la Figura 8 refleja que no existen un control adecuado de temperatura, es decir, la temperatura no se mantiene en los 85°C en el caso de la pasteurización, en las 3 repeticiones no existe estabilidad de temperatura, cada repetición varió, es por ello que, en la figura las cajas no son similares. Mientras que en la Figura 9 muestra la variabilidad que existe en la etapa de incubación o fermentación donde la temperatura debería mantenerse a 40° C hasta que la leche llegue a una acidez de 0,80% *que* indica que las bacterias fermentadoras como *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* fermentaron correctamente a la lactosa produciendo suficiente ácido láctico, y un pH de 4,6 que este es el punto crítico para la coagulación de la leche ya que, un pH de 4,6 es el punto isoeléctrico de la caseína(Mendoza et al., 2021) . Incluso en la repetición 3 existen valores atípicos en los que la temperatura varia *significativamente; lo* cual nos lleva a deducir que las condiciones de elaboración del producto no son las óptimas, además de requerir más tiempo de fermentación y finalizar con un producto de calidad variable.

Siguiendo la línea de falta de control de temperatura durante la pasteurización, si la temperatura o el tiempo de tratamiento térmico son insuficientes, existe el riesgo de que no se eliminen por completo los microorganismos termorresistentes presentes originalmente en la leche cruda (López Mata et al., 2016). En la etapa de incubación o fermentación también existe consecuencias por el mal control de temperatura ya que causa una fermentación lenta o la generación de un cuerpo débil en el yogur, ya que las bacterias utilizadas tienen su temperatura de crecimiento de 40°C, por lo que, si en la fermentación excede o disminuye de esta condición puede existir una sobrefermentación o subfermentación ya que, la leche fermentada no podrá llegar al pH y acidez adecuada (Liptáková et al., 2017). Por otro lado, un exceso de tratamiento térmico puede provocar daños irreversibles en las proteínas de la leche, afectando negativamente la viscosidad y la textura del producto final (Rafiq et al., 2020).

Figura 8.

Retención de temperatura en la pasteurización en el Sistema manual

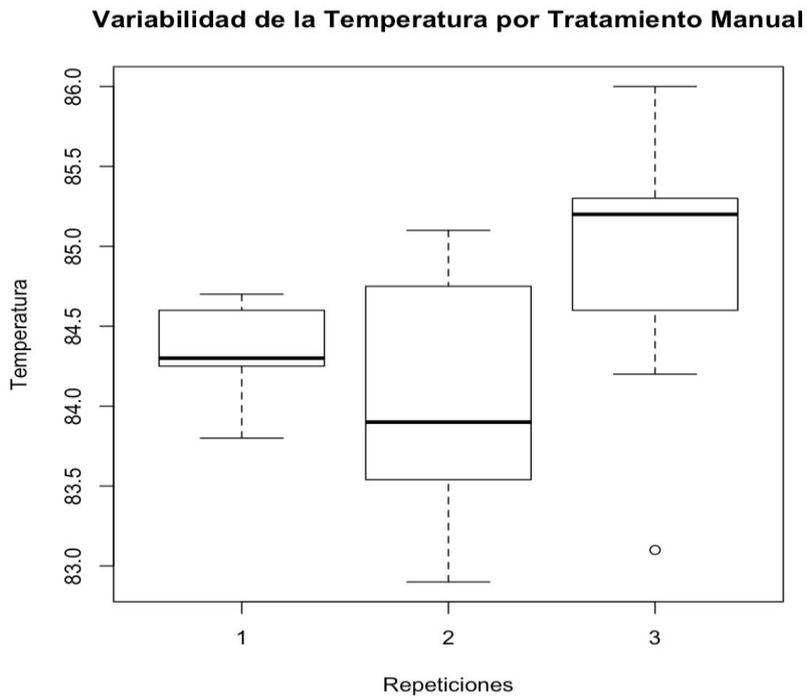
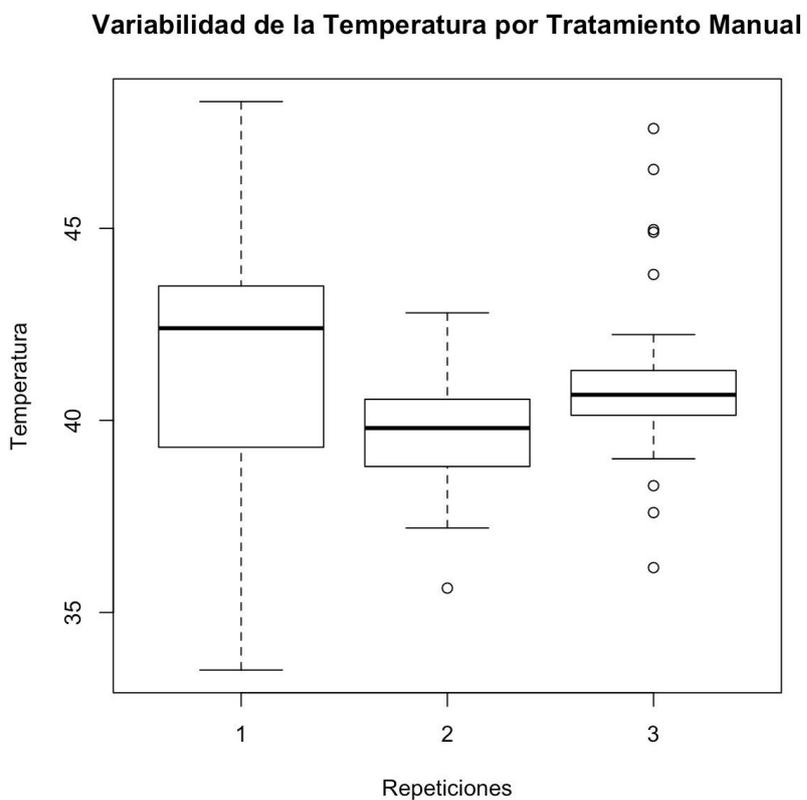


Figura 9.

Retención en la etapa de Incubación en el Sistema manual



4.3 Implementación el sistema automatizado para el control y monitoreo del proceso de producción de yogur.

La Figura 10 muestra los componentes que constituyen al tablero del sistema automatizado, el módulo de expansión LOGO 8 aumenta el número de entradas y salidas análogas o digitales del sistema; los contactores genera un campo magnético que cierra o abre contactos del contactor, permiten además enviar señales al PLC en este paso es el encendido y apagado del motor de batido, encendido y apagado de la lámparas, entre otros; el relé actúa como interruptor controlado por señales eléctricas de baja potencia; los interruptores electromagnéticos protegen los circuitos de sobrecargas; y por último la fuente de poder suministra la energía adecuada para los dispositivos en el sistema.

Mientras que en la Figura 11 indica los cambios que se implementaron, para *ello, se* cambiaron las válvulas por electroválvulas mismas que ayudaran a que por medio del PLC estas funcionen automáticamente.

Figura 10.

Componentes del tablero PLC

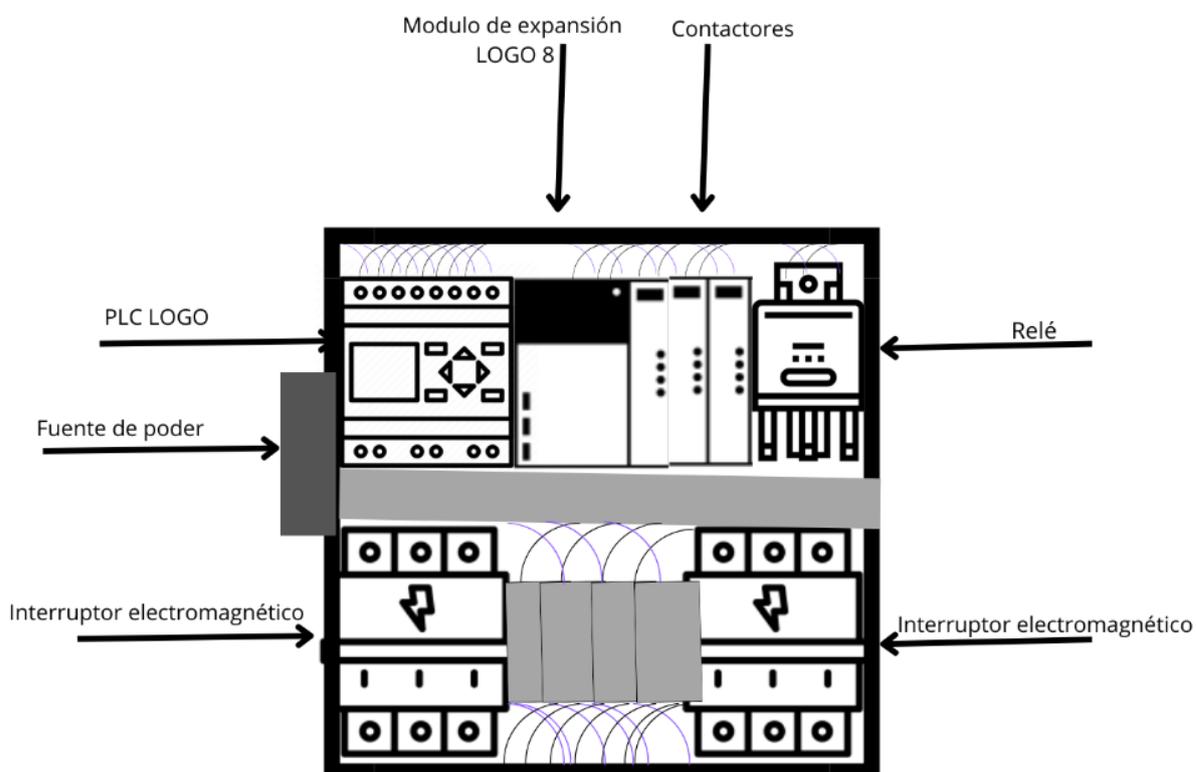
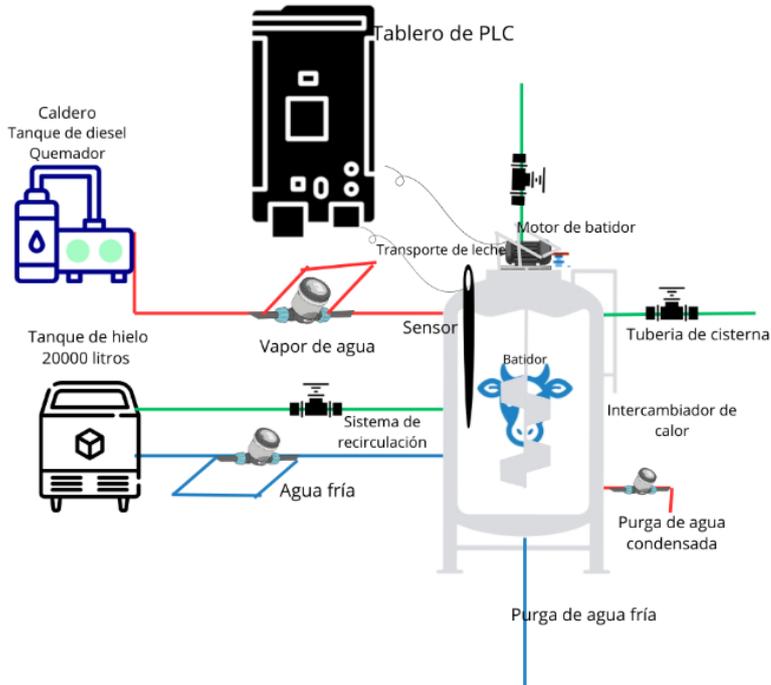


Figura 11.

Implementación de tablero, sensor y válvulas



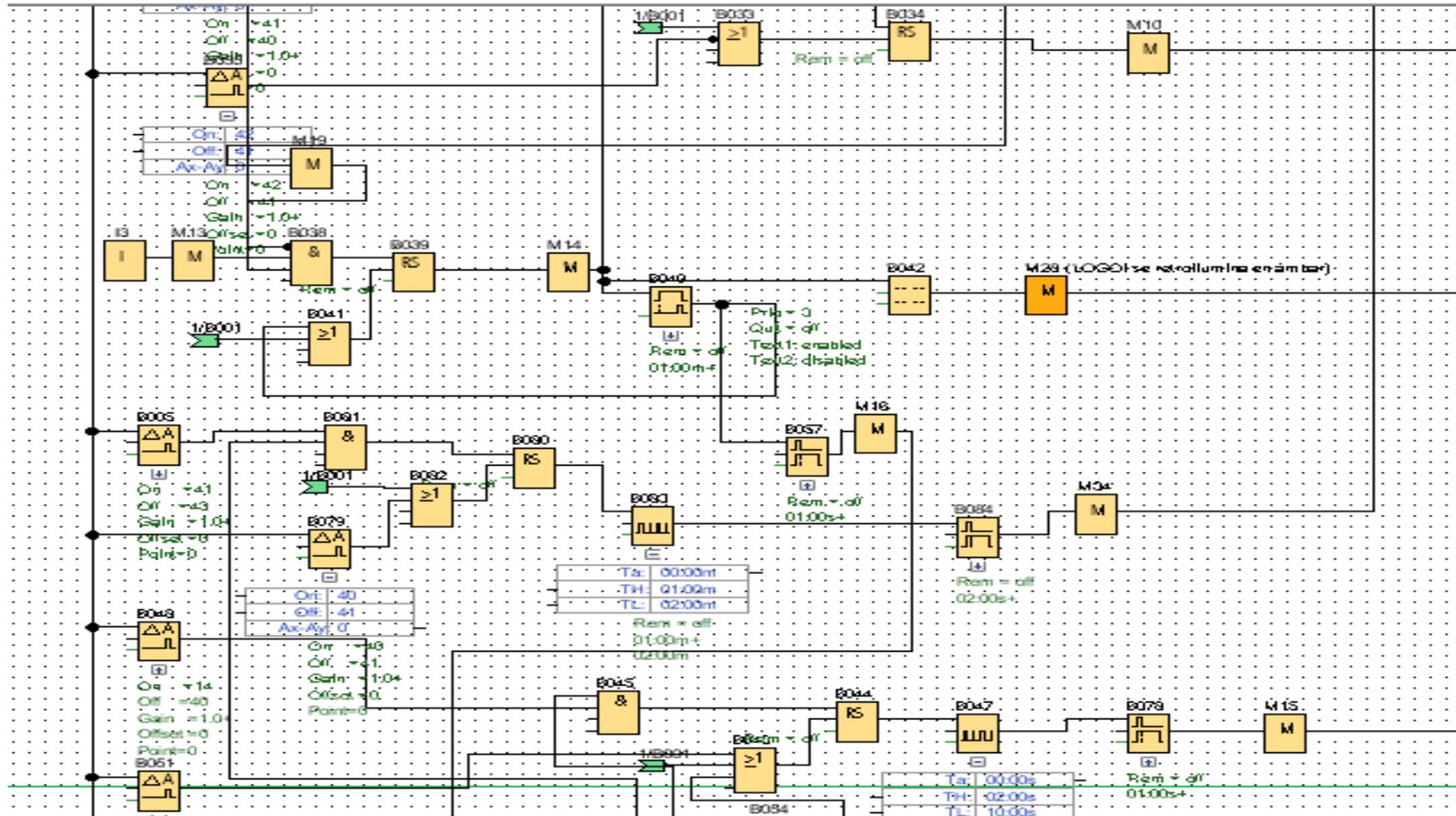
4.3.1 Programación del sistema automatizado

La Figura 12 muestra la primera parte de la programación, donde en la etapa de calentamiento se programó con varias condiciones en: el batidor se activará, inmediatamente cuando el vapor empiece a ingresar al equipo doble fondo, inmediatamente se encenderá la lampara roja que se encuentra en el tablero y que indica la acción de ingreso de vapor al sistema. La temperatura llegará hasta los 84°C ya que con el calor acumulado en el equipo llegará hasta los 85°C. En caso de que la temperatura sobrepase los 85°C, se programó con la condición de que se emitan golpes de agua fría para que la temperatura disminuya hasta llegar a la indicada, además la lampara color azul se encenderá al momento de que se active el agua fría. En la etapa de la pasteurización se mantendrá por 15 min a una temperatura de 85°C como se observa en la figura 12.

En la figura 13 se observa la programación que consiste en descender la temperatura de 85°C a 40°C mediante la emisión de agua fría, el software está programado para que se apague el agua fría a los 41°C ya que al cabo de un momento bajara a 40°C, el batidor se mantendrá encendido y la lampara color azul de la misma forma. Al llegar a la temperatura de 40°C, el sistema se apagará ya que se implementó la condición de que se encienda la lampará naranja que representa a la purga para que el operario purgue el equipo para dar paso a la etapa de incubación, una vez que el operario purgue el equipo debe dar una señal al selector, mismo que en el programa dará inicio a la etapa de incubación. En la etapa de incubación se dispuso que el tiempo será de 4h30, el batidor estará apagado y mantendrá una temperatura de 40°C. Las condiciones para esta etapa son: si la temperatura baja a 39°C se enviaran toques de valor y si la temperatura asciende a 41°C se enviarán toques de agua fría, esto con el objetivo de que la temperatura de incubación se mantenga durante el tiempo antes mencionado.

Figura 13.

Programación de etapa de enfriado (40°C) e incubación en el sistema automatizado

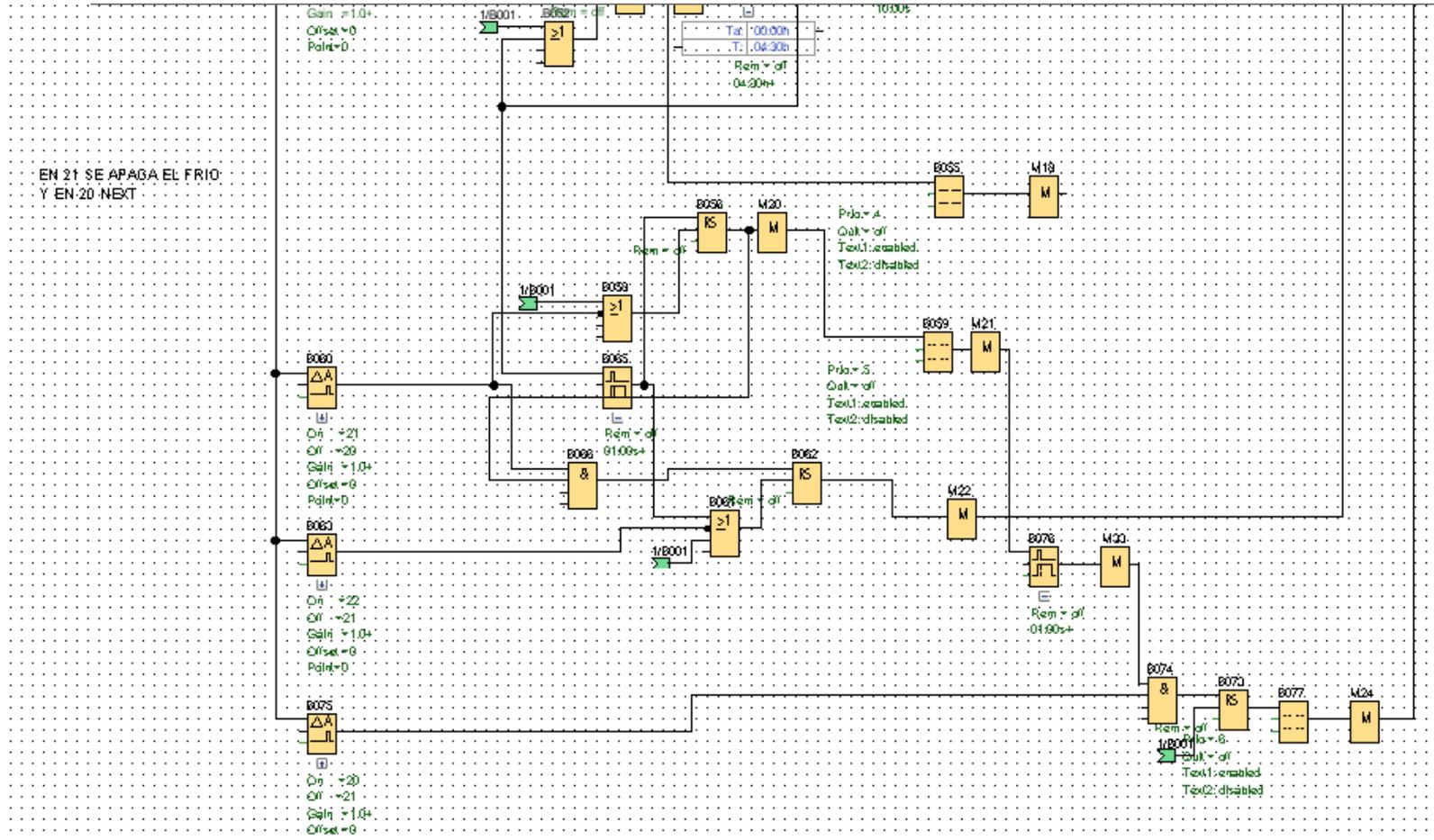


Nota: Q1 (Vapor de agua), Q2 (Purga), Q3 (Mezclador o batidor), Q4 (Agua fría)

La última etapa es el enfriado, donde la temperatura debe descender de 40°C a 20°C, las condiciones implantadas son: Entrará agua fría al tanque y la lámpara azul se encenderá. Una vez que se alcance la temperatura de 20°C, el batidor se encenderá hasta que el operario observe que el yogur tiene la textura deseada. El operario será el encargado de apagar toda la programación mediante el pulsador de pare como se observa en la figura 14.

Figura 14.

Programación de etapa de enfriado (20°C) y batido en el sistema manual.



Nota: Q1 (Vapor de agua), Q2 (Purga), Q3 (Mezclador o batidor), Q4 (Agua fría)

4.3.2 Implementación del sistema automatizado de control de pH en la fermentación

En la Figura 15 muestra las 3 producciones con la implementación del sistema automatizado con la programación para el PLC estableciendo como tiempo adecuado 270 minutos, que es el tiempo en el que el pH alcanza a 4,6 en la etapa de fermentación, misma que tuvo una temperatura de 40°C controlada por un sensor de temperatura.

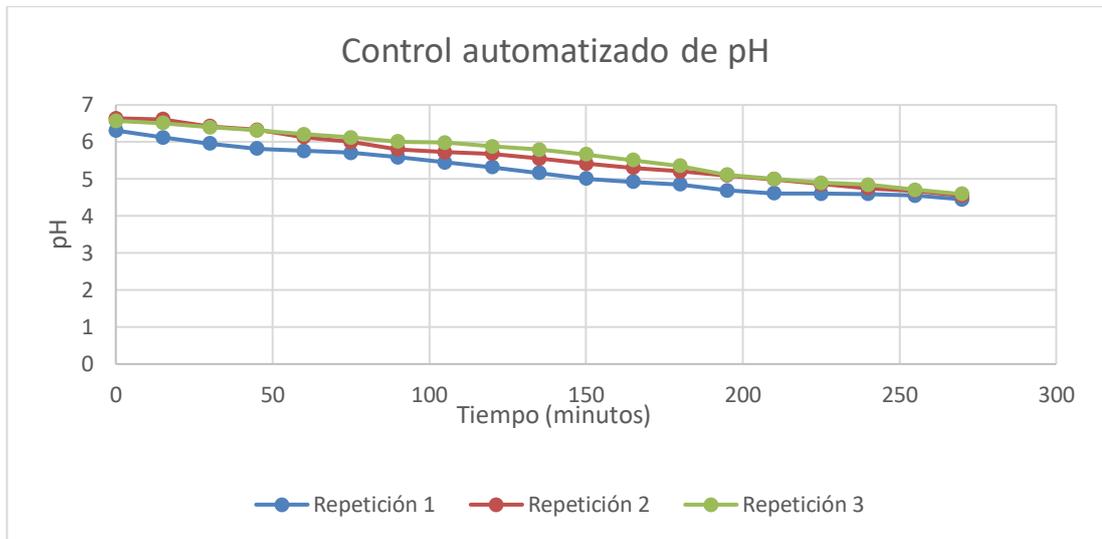
La temperatura juega un papel fundamental en el proceso de fermentación y en específico en el descenso de pH y un sensor de temperatura permite un control preciso que influye directamente en la variación del pH. Durante la fermentación las bacterias lácteas metabolizan la lactosa que está presente en la leche generando ácido láctico como producto final. Las bacterias *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, son termófilas lo que significa que su actividad metabólica está directamente relacionada con la temperatura.

El sensor permite mantener la temperatura a 40°C lo que optimiza la actividad de las bacterias. Cuando la temperatura se mantiene constante dentro del rango óptimo, las bacterias producen ácido láctico de manera más uniforme y eficiente. Esto genera una reducción progresiva y controlada del pH, pasando sustancialmente de un valor inicial de 6,6- 6,7 en la leche cruda hasta aproximadamente 4,6- 4,4 en el producto terminado.

Según el estudio de “Los efectos de varios valores de pH y temperatura para mejorar la producción de ácido láctico utilizando *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus rhamnosus*” estudiado por Erliana et al. (2020) menciona que al mantener un control preciso de temperatura se logra una consistencia en la producción del yogur, la variación controlada del pH garantiza, textura uniforme, sabor consistente, desarrollo adecuado de características organolépticas y seguridad microbiológica. La temperatura influye en la desnaturalización de proteínas lácticas, un sensor permite gestionar este proceso facilitando la formación de la estructura característica del yogur, y contribuyendo a la variación de pH de manera predecible. Si inicialmente la leche tiene un pH de 6,7 y se mantiene a 40°C- 42°C con un monitoreo constante de temperatura, en aproximadamente 4 o 5 horas el pH podría descender gradualmente hasta 4,4 a 4,6 indicando una fermentación óptima. Un sensor de temperatura no solo mide, sino permite gestionar periódicamente la fermentación del yogur. Al controlar este parámetro se optimiza la actividad bacteriana que garantiza la producción consistente de ácido láctico y logra una variación de pH precisa y reproducible

Figura 15.

Tiempo de descenso de pH en la etapa de fermentación con el sistema automatizado



4.4 Comparación de parámetros térmicos, fisicoquímicos y microbiológicos del yogur elaborado en sistema manual y automático

4.4.1 Pruebas de normalidad

En la Tabla 13 muestra las pruebas de normalidad en el proceso térmico y pruebas fisicoquímicas en la elaboración del yogur, donde si $p < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y los datos no son normales mientras que, si $p > 0,05$ no se rechaza la hipótesis nula y los datos son normales. Para el caso de los parámetros que presentaron datos normales se utilizó la T de Student, por lo contrario, los datos que no presentaron normalidad se sometieron a una prueba de Mann-Whitney.

Tabla 13.*Pruebas de normalidad para variables del proceso y fisicoquímicos*

Parámetro	Prueba normalidad	de p-Valor	Análisis
Proceso térmico			
Calentamiento 85°C	Shapiro-Wilk	1,7 x10 ⁻²	No normal
Pasteurización 85°C	Kolmogorov-Smirnov	<0,01	No normal
Incubación 40°C	Kolmogorov-Smirnov	<0,01	No normal
Enfriado 20 °C	Kolmogorov-Smirnov	<0,01	No normal
Análisis fisicoquímicos			
pH	Shapiro-Wilk	6 x10 ⁻²	Normal
Acidez	Shapiro-Wilk	6 x10 ⁻²	Normal
Coliformes	Shapiro-Wilk	2,5 x10 ⁻¹	Normal
Aerobios	Shapiro-Wilk	2,1 x10 ⁻¹	Normal
Sinéresis	Shapiro-Wilk	2,6 x10 ⁻²	No normal

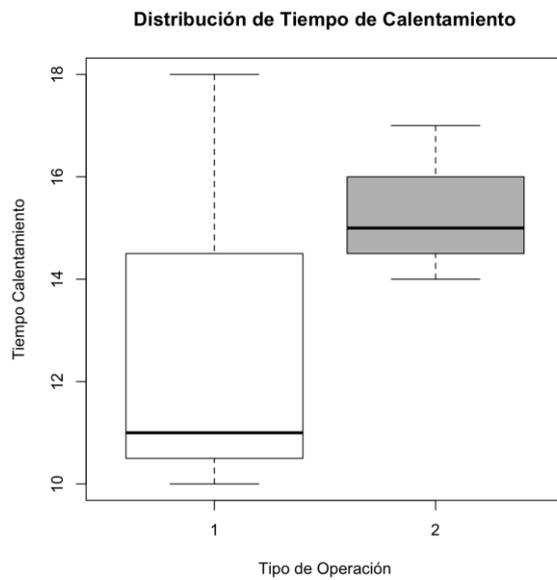
Nota. Si $P < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y los datos no son normales, si $p > 0,05$ no se rechaza la hipótesis nula y los datos son normales

4.4.2 Tiempo y temperatura en las etapas de calentamiento e incubación de la leche

La Figuras 16 y 17 muestran el tiempo necesario para alcanzar los 85°C durante la etapa de calentamiento y tiempo requerido para descender a los 20°C, después de la incubación o fermentación, respectivamente. En el caso del calentamiento se observó que su p-Valor es menor que 0,05 por lo que presenta una distribución de datos que no son normales, por el contrario, en el enfriado de 20°C presentó un p-Valor mayor a 0,05 por lo que la distribución de datos son normales como se aprecia en la Tabla 14, dado que el valor p para la etapa de calentamiento es de 1,5 x10⁻² y el valor p para la etapa de enfriamiento es 5,06 x10⁻¹. Sin embargo, al analizar las figuras se aprecia que el sistema manual presenta mayor variabilidad en los tiempos. En este contexto, el sistema automático, aunque dentro del rango de tiempo del sistema manual, presenta menor variabilidad, lo que indica que sus tiempos en las tres producciones fueron más consistentes.

Figura 16.

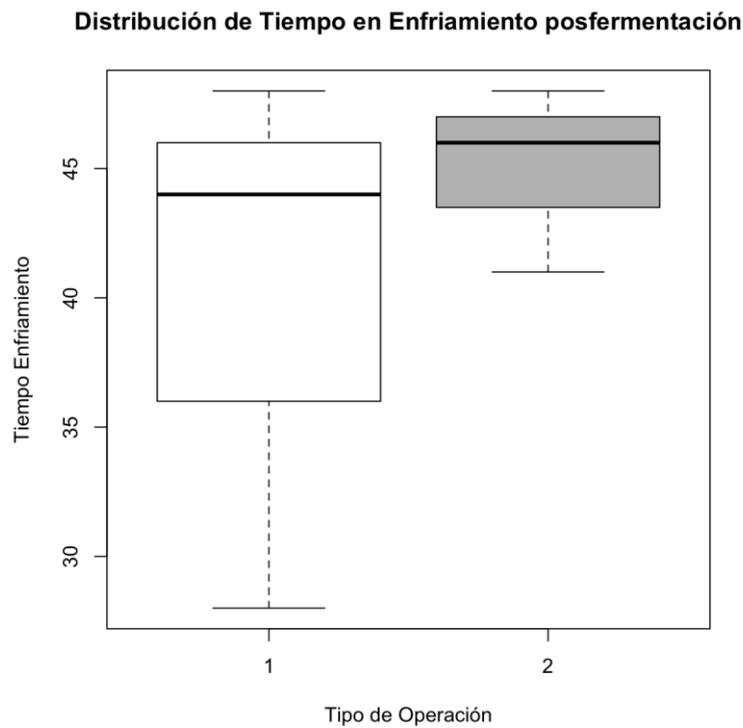
Comparación de tiempo que demora en llegar a los 85°C en los dos sistemas



Nota: 1 (sistema manual) 2 (sistema automático)

Figura 17.

Comparación de tiempo de enfriamiento a 20°C en los dos sistemas



Nota: 1 (sistema manual) 2 (sistema automático)

Tabla 14.

Prueba de Mann-Whitney del tiempo de calentamiento y enfriamiento postfermentación

Etapa	p-Valor
Calentamiento	$1,5 \times 10^{-2}$
Enfriado 20°C	$5,06 \times 10^{-1}$

Nota. Si $P < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y los datos no son normales, si $p > 0,05$ no se rechaza la hipótesis nula y los datos son normales

En la Figura 18 se observa la etapa de pasteurización, en la cual se mantiene una temperatura de 85°C durante 15 minutos. Las pruebas estadísticas mostraron que la distribución no es normal, con un p Valor $2,4 \times 10^{-2}$ como se muestra en la Tabla 15. La figura revela que el sistema manual tiende a mantener los 85°C, pero presenta datos atípicos, con temperaturas de 84°C a 82°C. Por otro, el sistema automático se mantiene exclusivamente en los 85°C, con un único valor atípico a los 84°C.

La Figura 19 muestra la etapa de fermentación, la cual no presenta normalidad, con un p Valor $< 0,01$. En la figura se observa una mayor variabilidad de datos en el sistema manual, con valores atípicos que superan los 45°C y descienden por debajo de los 35°C, lo que indica un mal control y un ambiente no propicio para la actividad de las bacterias ácido-lácticas. En contraste, el sistema automático presenta menor variabilidad con un único valor atípico de $\pm 1^\circ\text{C}$. Las condiciones óptimas para la fermentación son de 40°C durante el tiempo necesario para alcanzar una acidez de 0,80% y un pH de 4,6.

La prueba estadística de Mann-Whitney mostró que las dos etapas no presentan una distribución normal, indicando que el proceso automático ofrece un mejor control de la temperatura, es decir, la implementación del PLC permite mantener la temperatura dentro de los rangos óptimos de manera continua, reduciendo el margen de error humano presente en el proceso manual.

En estudios realizados por Clemente-Carazo et al. (2020) y Bermudez-Aguirre & Niemira, (2023) mencionan que la elaboración de yogur es un proceso delicado que requiere un control estricto de la temperatura y el tiempo en cada una de sus etapas clave. Si las condiciones de tiempo y temperatura durante la pasteurización o la fermentación son inadecuadas, pueden surgir diversos problemas que afectan la calidad y seguridad del producto final. Relacionando lo que dice la literatura al proyecto de investigación la pasteurización es una etapa donde más inestabilidad de temperatura existe, ya que la temperatura excede los 85°C o por el contrario disminuye la temperatura la falta de control

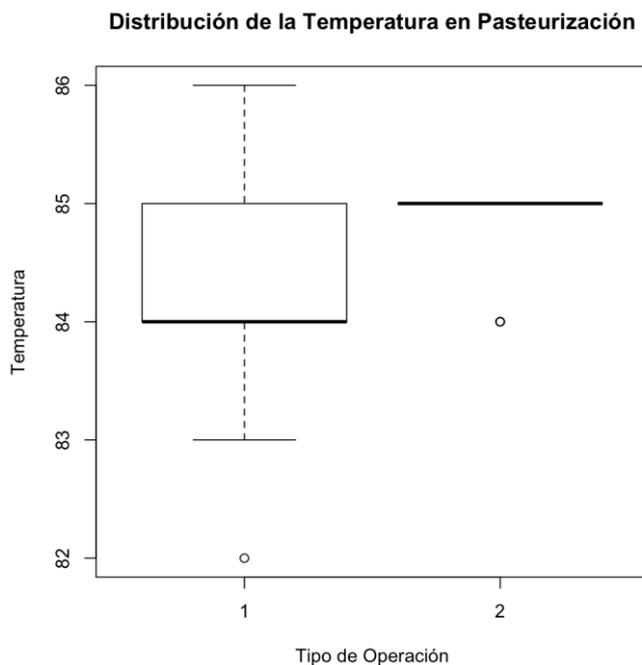
se ve reflejado en los parámetros microbiológicos y la disminución de sinéresis durante los días de almacenamiento.

Settier-Ramírez et al. (2020) mantiene que una temperatura o un tiempo inadecuados pueden comprometer la actividad de los cultivos lácticos, impidiendo una adecuada acidificación y coagulación de la leche. Esto se traduce en un producto final con defectos de textura, como granulosis y falta de suavidad, lo cual es altamente indeseable desde el punto de vista sensorial (Gao et al., 2023).

Paz-Díaz et al. (2021) sostiene que, para evitar estos problemas, la implementación de un sistema de control automatizado mediante un tablero de PLC resulta de gran utilidad. Al permitir un monitoreo y ajuste preciso de la temperatura a lo largo de todo el proceso, el uso de un PLC garantiza que las condiciones de tiempo y temperatura se mantengan dentro de los rangos óptimos recomendados, asegurando así la calidad y seguridad del yogurt producido.

Figura 18.

Comparación de retención de temperatura en la etapa de pasteurización en los dos sistemas

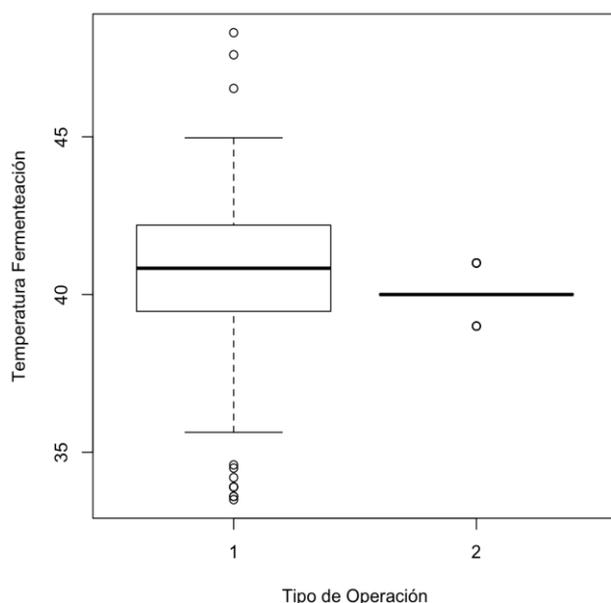


Nota: 1 (sistema manual) 2 (sistema automático)

Figura 19.

Comparación de retención de temperatura en la etapa de incubación a 40°C en los dos sistemas

Distribución de Temperatura de Fermentación por Tipo de Operación



Nota: 1 (sistema manual) 2 (sistema automático)

Tabla 15.

Comparación de sistema manual y automático en etapas de Pasteurización e Incubación

Etapa	Promedio		p-Valor
	Manual	Automático	
Pasteurización	84,10±0,8845	84,91±0,2363	4,56 x10 ⁻⁵
Incubación	41±2,53	40±0,13	1,698 x10 ⁻⁴

Nota Valor P: Probabilidad asociada (P<0,05)

4.4.3 Control de tiempo en pH y acidez durante la fermentación

Se ha evaluado el tiempo necesario para que el pH y la acidez en la etapa de fermentación alcancen los valores de 4,6 y 0,80% respectivamente. La Tabla 16 presenta el mismo valor p 1,81 x10⁻², ya que las muestras tanto de pH como de acidez se tomaron en rangos de 15 minutos. Los resultados revelan que existe diferencia estadísticamente significativa ya que como se observa en la Figura 19 y 20 la distancia que existe entre la caja del sistema automático con la manual es mucha.

Las Figuras 20 y 21 han revelado que el tipo de proceso manual no tiene un sistema controlado en cuanto a temperatura, lo que resultó en una mayor variabilidad y un tiempo prolongado para alcanzar los niveles específicos de pH y acidez, en este contexto la ausencia de control preciso de la temperatura causó fluctuaciones y una mayor variabilidad. Por otro lado, el proceso automático tiene un mayor control para mantener la temperatura constante, este control proporciona un ambiente más propicio para los cultivos lácticos (*Lactobacillus delbrueckii*, *bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*), lo que facilitó que los niveles de pH y acidez alcanzaran las cantidades deseadas, en un tiempo significativamente menor. Dentro de la eficiencia del proceso automático demostró significativamente más eficiente en comparación al proceso manual. Por otro lado, la consistencia del proceso radica en el proceso automático donde se encuentra un mayor control en la fermentación, la reducción de la variabilidad es esencial para garantizar un producto final de alta calidad y uniforme.

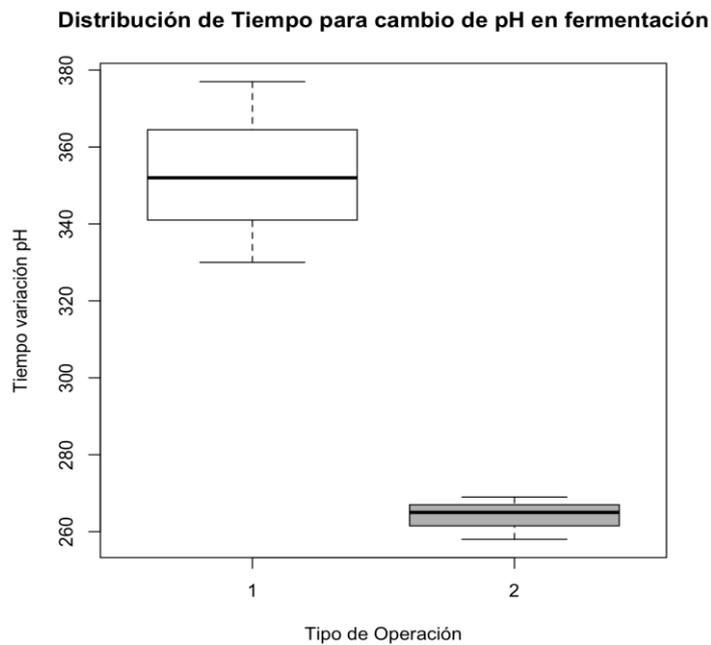
En estudios realizados por Rahmayetty et al. (2022) y Cuello et al. (2014) describen que cuando se produce un mal control de temperatura durante la fermentación, pueden ocurrir diversas consecuencias, como una fermentación incompleta de baja acidez, mala textura y con bacterias que se fermentan lentamente a causa de temperaturas menores 40 °C, además en temperaturas superiores a 40 °C existe una fermentación muy rápida que genera una sobreacidificación y separación del suero que afecta a la formación de caseína, provocando un yogur arenoso, con exceso de suero, grumoso o por el contrario muy líquido. Por otro lado, Paz-Díaz et al. (2021) menciona que, las temperaturas por debajo del rango óptimo de crecimiento de los cultivos pueden limitar su actividad metabólica, trayendo como consecuencia una fermentación lenta y una acidificación inadecuada.

En el presente estudio se utilizaron cultivos iniciadores como *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, las cuales presentan un crecimiento óptimo alrededor de 40±1 °C. Cuando la temperatura de fermentación desciende por debajo de 38 °C, la producción de ácido láctico disminuye por esta razón, el yogur procesado puede tener un pH o acidez superior al valor ideal de 0,80%, la acidez es mayor, lo que afecta la textura y el sabor, así como la vida útil. Sin embargo, si la temperatura de incubación supera los 42 °C, esto significa que la fermentación y la acidificación se aceleran.

Si la temperatura es demasiado alta, se acelera excesivamente la actividad metabólica de las bacterias ácido-lácticas, dando lugar a una producción exacerbada de ácido láctico. Esto causa una caída abrupta del pH, llegando a valores muy bajos que pueden deteriorar las propiedades organolépticas e incluso la inocuidad del yogur (Son et al., 2023). Es por ello que, por la falta de control de temperatura en la yogurtera del CETTEPS, variaba la calidad del producto final.

Figura 20.

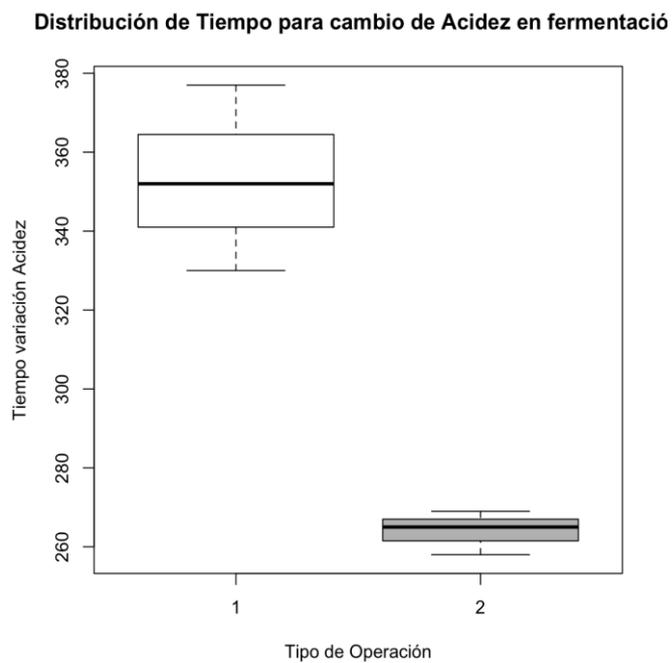
Comparación de tiempo descenso del pH en la fermentación en los dos sistemas



Nota: 1 (sistema manual), 2 (sistema automático)

Figura 21.

Comparación de ascenso de acidez en la incubación en los dos sistemas



Nota: 1 (sistema manual) 2 (sistema automático)

Tabla 16.*Comparación de tiempo en pH y acidez durante la etapa de Fermentación.*

Parámetro	Promedio		p-Valor
	Manual	Automático	
pH	353±19,20	264±4,54	1,81 x10 ⁻²
Acidez	353±19,20	264±4,54	1,81 x10 ⁻²

Nota Valor P: Probabilidad asociada (P<0,05)

4.4.4 *Análisis microbiológico en la leche pasteurizada*

En las Figuras 21 y 22, se observa una menor cantidad de colonias de aerobios y coliformes en la leche pasteurizada del sistema automático en comparación con el sistema manual, lo que indica que el sistema automático disminuye la contaminación microbiológica del producto. Este resultado es significativo desde el punto de vista estadístico, con un valor p de $2,59 \times 10^{-2}$ para los aerobios y un valor p de $1,63 \times 10^{-2}$ para los coliformes, confirmando que las diferencias son estadísticamente significativas como se observa en la Tabla 17.

La presencia de coliformes es un indicador de contaminación fecal y su reducción es fundamental para asegurar la inocuidad del producto, el sistema automatizado demostró ser más efectivo en la eliminación de estos microorganismos, probablemente debido a un manejo más riguroso de las condiciones de procesamiento y a una mejor higiene durante el mismo. La menor variabilidad en el sistema automático puede atribuirse a un control más preciso y uniforme de las condiciones durante el proceso, lo que reduce la posibilidad de contaminaciones o inconsistencias en la calidad. Eso sugiere que el sistema automático proporciona un ambiente más estable y controlado, favoreciendo así la homogeneidad del producto final y reduciendo la probabilidad de variaciones indeseables en las características microbiológicas del mismo.

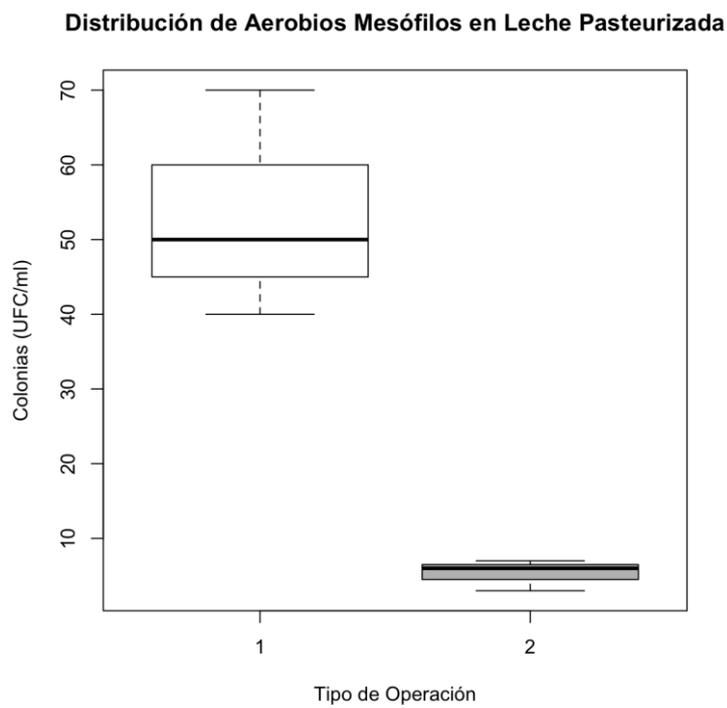
Las reducciones en los conteos de aerobios y coliformes destacan la superioridad del sistema automatizado frente al proceso manual. Estos hallazgos respaldan la adopción de tecnologías automatizadas para optimizar la producción, garantizar la inocuidad y mejorar la calidad del yogur producido en el CETTEPS de la UNACH.

Jurado-Gómez et al. (2019) destacan que, en la leche cruda, el conteo de aerobios es típicamente más alto que en leche pasteurizada, debido a que el proceso de pasteurización elimina la mayor parte del microbiota presente. Por otro lado, en la presente investigación existe presencia de coliformes en las tres muestras, en la leche cruda presenta una mayor cantidad mientras que en la leche pasteurizada y fermentada hay una disminución de la misma. Aunque, según estudios realizados en Colombia por Mosso-Arias et al. (2024) han encontrado que la leche cruda presenta altos recuentos de mesófilos aerobios y coliformes totales, lo cual evidencia deficiencias en las prácticas de ordeño y manipulación de la leche

a nivel de finca. Estos problemas microbiológicos pueden persistir incluso después del proceso de pasteurización, lo que afecta la calidad y vida útil del yogur.

Figura 22.

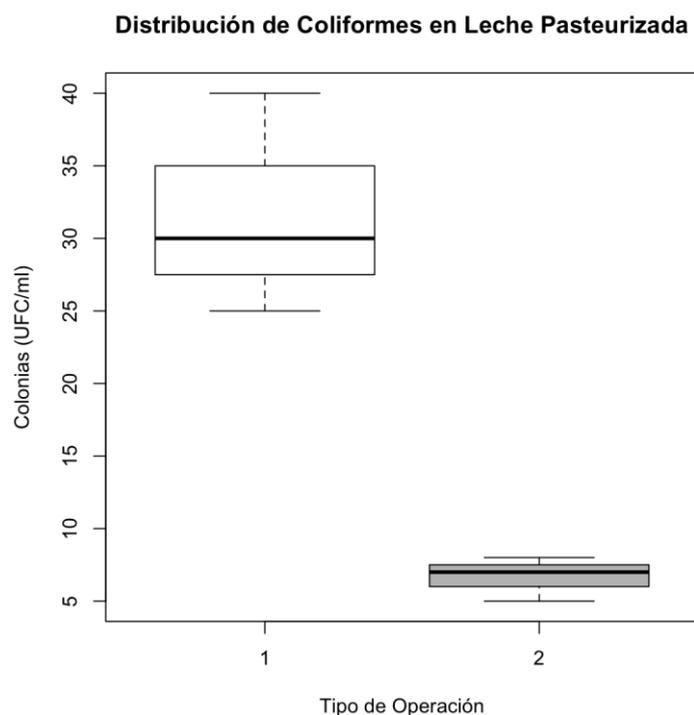
Aerobios en la leche después de la pasteurización en los dos sistemas



Nota. 1 (sistema manual) 2 (sistema automático)

Figura 23.

Coliformes en la leche después de la pasteurización en los dos sistemas



Nota. 1 (sistema manual) 2 (sistema automático)

Tabla 17.

Comparación de parámetros microbiológicos en la leche después de la pasteurización de los dos sistemas

Parámetro	Promedio		p-Valor
	Manual	Automático	
Aerobios UFC/ml	53,33±12,47	5,33±1,69	2,59 x10 ⁻²
Coliformes UFC/ml	31,66±6,23	6,66±1,24	1,63 x10 ⁻²

Nota Valor P: Probabilidad asociada (P<0,05)

4.4.5 Sinéresis del yogur en los días 1, 7, 14, 21 y 28 de almacenamiento

En la tabla 18 refleja el análisis estadístico de los días de almacenamiento con las producciones de los dos sistemas (manual y automático). Los resultados mostraron cambios

significativos en los días 1, 7 y 28, pero no se observaron cambios significativos en los días 14 y 21. Esta diferencia puede atribuirse al sistema automático que controlaba cuidadosamente la temperatura en el proceso de elaboración del yogur, lo que ayudo a que conservación sea mas prolongada, lo que implica una mejor estabilidad y calidad del producto desde el inicio y a lo largo de todo el período de almacenamiento. Estos hallazgos respaldan el uso del sistema automatizado para mejorar la consistencia y longevidad de la calidad del yogur en almacenamiento.

Según la literatura las principales causas que pueden contribuir a un mayor porcentaje de sinéresis es por: Una acidez elevada, que puede debilitar la estructura de la red de proteínas y facilitar la expulsión del suero (Khodadadi et al., 2023); una insuficiente estabilización de la estructura del gel, ya sea por problemas en el proceso de elaboración o por un inadecuado uso de estabilizantes (Cuello et al., 2014); y una reducción en la viscosidad del producto, que también puede facilitar la separación del suero (Rafiq et al., 2019). Por otro lado los factores que pueden reducir la sinéresis es: El uso de hidrocoloides y otros estabilizantes que refuercen la estructura del gel y eviten la separación del suero (Rafiq et al., 2019); Una adecuada selección y dosificación de los cultivos iniciadores, que permita mantener una acidez equilibrada a lo largo del almacenamiento; y control adecuado de temperatura al momento de la incubación y durante el almacenamiento, ya que las temperaturas elevadas aceleran los procesos de sinéresis (Zhi et al., 2018) (Paz-Díaz et al., 2021).

En el caso de este estudio, la disminución de sinéresis se atribuye a que el sistema automatizado posee un mejor control de temperatura, permitiendo que exista una fermentación adecuada, cuidando que la temperatura se mantenga en 40°C y su acidificación sea correcta, de esta forma el producto final tuvo una mejor calidad en los parámetros anteriormente mencionados.

Tabla 18.

Prueba de Mann-Whitney en los días de almacenamiento del yogur respecto a los dos sistemas

Día de almacenamiento	% sinéresis en el Sistema Manual	% sinéresis en el Sistema Automático	p- Valor
Día 1	2,55±0,34	1,2166±0,19	4,9 x10 ⁻²
Día 7	3,45±0,14	2,85±0,21	4,6 x10 ⁻²
Día 14	4,6±0,12	3,51±0,20	1,7 x10 ⁻¹
Día 21	9,16± 0,23	6,2±0,34	2,7 x10 ⁻¹
Día 28	10,21±0,28	8,7±0,25	4,8 x10 ⁻²

Nota. Si $P < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y los datos no son normales, si $p > 0,05$ no se rechaza la hipótesis nula y los datos son normales

4.5 Elaboración de un manual de operación para el sistema automatizado en los procesos de producción del yogur en el CETTEPS

El manual de operación se encuentra en los anexos de esta investigación. El manual consta de una introducción, alcances, objetivos, precauciones, componentes y accesorios, modo de uso, mantenimiento y solución a posibles problemas.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La evaluación de las condiciones de operación antes de la automatización del equipo de producción de yogur, reveló deficiencias en el control manual de temperatura. Las fluctuaciones en estos parámetros críticos afectaban la calidad del producto final, evidenciando la necesidad de un sistema más eficiente. Se subraya la importancia de dar un paso más a la tecnología que aseguren condiciones óptimas durante el proceso de pasteurización y fermentación, lo cual es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y la calidad del yogur.
- La implementación de un sistema automatizado para el control de temperatura y pH principalmente en las etapas de pasteurización y fermentación ha demostrado ser una alternativa eficaz para mejorar la calidad y seguridad alimentaria. Los datos obtenidos indican que tras la automatización se logró una estabilidad notable en parámetros críticos, lo que se traduce en una mejora significativa en la calidad, inocuidad y control del proceso. Este avance no solo optimiza el proceso productivo, sino que también reduce significativamente el riesgo de contaminación, además las pruebas de funcionamiento realizadas tras la instalación del equipo han asegurado su correcto uso, contribuyendo a una mayor eficiencia productiva.
- Se elaboró un manual de operación siendo una herramienta esencial para asegurar el correcto funcionamiento del equipo y facilitar el uso por parte del personal, este manual incluye procedimientos detallados para el monitoreo y ajuste de parámetros, así como un cuadro para posibles soluciones de problemas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda promover futuras líneas de investigación enfocadas en el estudio del transporte de calor, específicamente orientadas a determinar la ubicación óptima de sensores para maximizar la precisión en las mediciones térmicas.
- Se recomienda la implementación de un sensor de pH, para de este modo, monitorear en tiempo real el descenso de pH durante el proceso de fermentación en la elaboración del yogur, esta mejora permitirá evaluar con mayor precisión el comportamiento de diversos cultivos y no solo limitar el estudio a un solo cultivo en específico como se lo hizo en la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Allam, A., Shafik, N., Zayed, A., Khalifa, I., Bakry, I. A., & Farag, M. A. (2023). Plain set and stirred yogurt with different additives: implementation of food safety system as quality checkpoints. *PeerJ*, *11*, e14648. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.14648/FIG-4>
- Anang, Hadisupadmo, S., & Leksono, E. (2017). Model predictive control design and performance analysis of a pasteurization process plant. *Proceedings of the 2016 International Conference on Instrumentation, Control, and Automation, ICA 2016*, 81–87. <https://doi.org/10.1109/ICA.2016.7811480>
- Angulo, C. R. (2023). *propuesta para la elaboración de yogurt a base de coco producto típico del pacífico*. <https://repositorio.unipacifico.edu.co/handle/unipacifico/1024>
- Bermudez-Aguirre, D., & Niemira, B. A. (2023). Radio Frequency Treatment of Food: A Review on Pasteurization and Disinfestation. *Foods*, *12*(16). <https://doi.org/10.3390/FOODS12163057>
- Cañar-Ramos, S., García-Montes, Y., Aldas-Morejón, J., Revilla-Escobar, K., Caicedo-Álvarez, E., & Arguello-Cedeño, J. (2024). Determinación de la calidad fisicoquímica e higiénico sanitaria de leche cruda considerando distintos sistemas de ordeño y tipos de alimentación. *Revista Peruana de Investigación Agropecuaria*, *3*(1), e53–e53. <https://doi.org/10.56926/REPIA.V3I1.53>
- Clemente-Carazo, M., Cebrián, G., Garre, A., & Palop, A. (2020). Variability in the heat resistance of *Listeria monocytogenes* under dynamic conditions can be more relevant than that evidenced by isothermal treatments. *Food Research International*, *137*. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109538>
- Cordero Guzmán, D. M., Sañay Sañay, I. S., Cordero Guzmán, D. M., & Sañay Sañay, I. S. (2020). Marco de Trabajo para Gestión de Procesos de Negocio (BPM). Caso de una Empresa de Servicios. *Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)*, *7*(1), 43–53. <https://doi.org/10.26423/RCTU.V7I1.509>
- Cuello, R. E. G., Mendoza, J. P., & Suarez, N. A. U. (2014). Microencapsulation Effects on the Rheological and Physico-chemical Properties of Soft Yoghurt. *Información Tecnológica*, *25*(6), 45–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000600007>
- De Investigación En, L., De, L., De, L. C., Vega, M., Vinicio, J., Aguilar, R., Paul, B., Ochoa, Z., Eliana, Z., & Mg, I. (2022). *Manual de funcionamiento, mantenimiento y aplicaciones pedagógicas del equipo (pH metro multiparamétrico benchtop pH/ conductivity meter y del Lactodensímetro) en el Laboratorio de Investigación en Lácteos de la Carrera de Agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi*. Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8734>

- El índice de madurez industrial está entre el 2.06 y el 3.8 – IT ahora.* Junio 29, 2024, from <https://itahora.com/2022/02/22/el-indice-de-madurez-industrial-esta-entre-el-2-06-y-el-3-8/>
- Erliana, W., Widjaja, T., Altway, A., Sandra, M., & Susilo, D. (2020). The effects of various pH and temperature to enhance lactic acid production using *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus rhamnosus*. *AIP Conference Proceedings*, 2197(1). <https://doi.org/10.1063/1.5140932/783101>
- FCA-UNR, V. J. de C. y T. (2022). VI Jornadas de Ciencia y Tecnología 2021. *Ciencias Agronómicas*, 37, e010. <https://doi.org/10.35305/AGRO37.E010>
- Fernando, A. L. M., José, J. V. L., & Luis, M. T. (2016). Modeling of Heat Transfer in the Thermal Treatment of Canned Products. *Información Tecnológica*, 27(6), 85–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000600009>
- Gallegos Oviedo, A. M., & Ricaurte Segovia, D. M. (2016). *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.* <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5647>
- Gao, F., Li, D., Li, H., Chen, H., Mao, X., & Wang, P. (2023). Influence of Post-Heating Treatment on the Sensory and Textural Properties of Stirred Fermented Milk. *Foods* 2023, Vol. 12, Page 3042, 12(16), 3042. <https://doi.org/10.3390/FOODS12163042>
- Garcell, H. G., García, E. G., Pueyo, P. V., Martín, I. R., Arias, A. V., & Alfonso Serrano, R. N. (2016). Outbreaks of brucellosis related to the consumption of unpasteurized camel milk. *Journal of Infection and Public Health*, 9(4), 523–527. <https://doi.org/10.1016/J.JIPH.2015.12.006>
- García Juárez, D. L., & García Juárez, D. L. (2024). *Medición de la capacidad antioxidante del resveratrol adicionado en un yogurt natural.* <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/8638>
- Gonzales-Malca, J., & Abanto-López, M. (2021). Calidad de los derivados lácteos producidos en la Región Amazonas, Perú. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(1), 50–57. <https://doi.org/10.25127/APS.20211.759>
- González Tinta, V. A., & Armas Almeida, L. F. (2015). *Diseño e implementación de un sistema automático para el proceso de pasteurización de leche.* <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9110>
- González Urbina, D. del C. (2023). *Procesos de pasteurización recomendados por la literatura científica entre 1975 y 2021: revisión sistemática.* <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/195616>

- Ingeniería Química, C., & Yogur La Planta De Acopio De Leche San, D. E. (2022). *Diseño de un proceso industrial para elaboración de yogur en la planta de acopio de leche San Rafael, cantón Guano*. <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/17756>
- José, M., Camacho, L., & Falcón, R. G. (2020). *Trabajo Fin de Máster*.
- Jurado-Gámez, H., Muñoz-Domínguez, L., Quitiaquez-Montenegro, D., Fajardo-Argoti, C., Insuasty-Santacruz, E., Jurado-Gámez, H., Muñoz-Domínguez, L., Quitiaquez-Montenegro, D., Fajardo-Argoti, C., & Insuasty-Santacruz, E. (2019). Evaluación de la calidad composicional, microbiológica y sanitaria de la leche cruda en el segundo tercio de lactancia en vacas lecheras. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 66(1), 53–66. <https://doi.org/10.15446/RFMVZ.V66N1.79402>
- Khodadadi, E., Khorshidian, N., Mashayekh, M., Hosseini, H., Mortazavian, A. M., & Ebrahimi, A. (2023). BIOCHEMICAL, RHEOLOGICAL, and SENSORY CHARACTERISTICS of NON-FAT SET YOGURT SUPPLEMENTED with A MIXTURE of HYDROCOLLOIDS: Characteristics of Non-fat Yogurt Supplemented with Hydrocolloids. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 12(4), e5706–e5706. <https://doi.org/10.55251/JMBFS.5706>
- Liptáková, D., Matejčková, Z., & Valík, L. (2017). Lactic Acid Bacteria and Fermentation of Cereals and Pseudocereals. *Fermentation Processes*. <https://doi.org/10.5772/65459>
- LOGO! de SIEMENS, qué es? Es realmente un PLC? (n.d.). Julio 18, 2024, <https://automatismomundo.com/logo-de-siemens-que-es-es-realmente-un-plc/>
- López Mata, F. A., Valencia López, J. J., & Medina Torres, L. (2016). Modelado de la Transferencia de Calor en el Tratamiento Térmico de Productos Enlatados. *Información Tecnológica*, ISSN-e 0718-0764, ISSN 0716-8756, Vol. 27, No. 6, 2016, Págs. 85-94, 27(6), 85–94. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7300721&info=resumen&idioma=ENG>
- Lucey, J. A. (2017). Formation, Structural Properties, and Rheology of Acid-Coagulated Milk Gels. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology: Fourth Edition*, 1, 179–197. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417012-4.00007-7>
- Más allá del valor nutricional del yogur: ¿un indicador de la calidad de la dieta?. Junio 29, 2024, https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112017001000006
- MASTER ECO - Milkotester Ltd. (2020). Enero 8, 2025, <https://milkotester.com/es/products/master-eco>
- Melendez Galindo, L. (2023). *La Aplicación del Módulo Didáctico Logo Soft Comfort V8.0 y su influencia en los Logros de Aprendizaje de la Asignatura PLC I en los Estudiantes de la Especialidad de Electrotecnia Industrial del Instituto Superior Tecnológico “José Pardo.”* Universidad Nacional de Educación Enrique Gúzman y Valle. <https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/9496>

- Mendoza, R., Guerrero, S., Herrera-Chávez, B., Mendoza, R., Guerrero, S., & Herrera-Chávez, B. (2021). Reología del yogur: efectos de las operaciones unitarias en el procesamiento y uso de aditivos. *Revista Digital Novasinergia*, 4(1), 151–163. <https://doi.org/10.37135/NS.01.07.09>
- Mosso-Arias, J. M. A., Alfonso-Vargas, N. C., & Aguilera-Becerra, A. (2024). Calidad microbiológica de la leche cruda de bovinos de Paipa, Colombia. *Duazary*, 21(2), 92–101. <https://doi.org/10.21676/2389783X.5933>
- Olmedo, R., Alejandro, I., López, S., Javier, H., Gomeztagle, G., Rojas, A., & Erick, R. (2020). Implementación de sistema de control automático de temperatura en proceso de parafinado mediante labview. *Programación Matemática y Software*, 12(1), 80–86. <https://doi.org/10.30973/PROGMAT/2020.12.1/7>
- Parra, R. (2016). Uso de rubas (*ullucus tuberosus*) en la elaboración y caracterización de yogur. *Temas Agrarios*, 20(1), 91–102. <https://doi.org/10.21897/RTA.V20I1.751>
- Paz-Díaz, H. J., Mora-Vergara, L. Z., Navarro-Arana, C. E., Navarro, A. S., & Pacheco-Valderrama, M. M. (2021). Efecto de las variables de proceso sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas de yogur. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1). <https://doi.org/10.31910/RUDCA.V24.N1.2021.1922>
- Petriefilm para Alimentos y bebidas | 3M España*. (2018). Enero 8, 2025, https://www.3m.com/es/3M/es_ES/p/c/b/petriefilm/i/fabricacion/alimentos-y-bebidas/
- PLC LOGO de Siemens Teoria y Practicas*. (2020.). Julio 18, 2024, <https://www.areatecnologia.com/electricidad/plc-logo.html>
- Proceso Productivo del Yogurt: Circuito, Elaboración y Etapas (2020)*. (2021). Enero 8, 2025, from <https://circuitoproductivo.com/yogurt/>
- ¿Qué es el sensor de termopar y cómo funciona? | Dewesoft*. (2019). Julio 18, 2024, <https://dewesoft.com/es/blog/temperatura-medicion-termopar-sensores>
- ¿Qué es un PLC? ¿Cómo funciona? ¿Para qué sirve?* (2019.). June 29, 2024, <https://srsl.com/que-es-un-plc/>
- Qué es un PLC, cómo funciona y por qué se utilizan*. (n.d.). Retrieved July 18, 2024, from <https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/>
- Rafiq, L., Zahoor, T., Sagheer, A., Khalid, N., Ur Rahman, U., & Liaqat, A. (2019). Augmenting yogurt quality attributes through hydrocolloidal gums. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(2), 323–331. <https://doi.org/10.5713/AJAS.18.0218>
- Rafiq, L., Zahoor, T., Sagheer, A., Khalid, N., Ur Rahman, U., & Liaqat, A. (2020). Augmenting yogurt quality attributes through hydrocolloidal gums. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(2), 323–331. <https://doi.org/10.5713/AJAS.18.0218>
- Rahmayetty, R., Yulvianti, M., & Hartono, R. (2022). Synthesis of Lactic Acid from Molasses by *Lactobacillus acidophilus* Using a Batch Fermentation Process. *Jurnal*

Rekayasa Kimia & Lingkungan, 17(2), 104–113.
<https://doi.org/10.23955/RKL.V17I2.25657>

Reales, J. (2021, March 5). *¿Por qué se debe tratar térmicamente la leche? ¿Cuáles son los diferentes tipos de tratamientos térmicos de la leche que existen?* | *LinkedIn*.
<https://www.linkedin.com/pulse/por-qu%C3%A9-se-debe-tratar-t%C3%A9rmicamente-la-leche-cu%C3%A1les-son-javier-reales/>

Revista Gestión | Sector lácteo en Ecuador: una mirada a los desafíos y oportunidades. (n.d.). Retrieved January 7, 2025, from <https://revistagestion.ec/analisis-economia-y-finanzas/sector-lacteo-en-ecuador-una-mirada-los-desafios-y-oportunidades/>

Robayo Acuña, P. V. (2016). La innovación como proceso y su gestión en la organización: una aplicación para el sector gráfico colombiano. *Suma de Negocios*, 7(16), 125–140.
<https://doi.org/10.1016/J.SUMNEG.2016.02.007>

Rollán, G. C., Gerez, C. L., & Leblanc, J. G. (2019). Lactic Fermentation as a Strategy to Improve the Nutritional and Functional Values of Pseudocereals. *Frontiers in Nutrition*, 6. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2019.00098>

Settier-Ramírez, L., López-Carballo, G., Gavara, R., & Hernández-Muñoz, P. (2020). PVOH/protein blend films embedded with lactic acid bacteria and their antilisterial activity in pasteurized milk. *International Journal of Food Microbiology*, 322, 108545.
<https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2020.108545>

Shabbir, M. A., Ahmed, H., Maan, A. A., Rehman, A., Afraz, M. T., Iqbal, M. W., Khan, I. M., Amir, R. M., Ashraf, W., Khan, M. R., & Aadil, R. M. (2020). Effect of non-thermal processing techniques on pathogenic and spoilage microorganisms of milk and milk products. *Food Science and Technology*, 41(2), 279–294.
<https://doi.org/10.1590/FST.05820>

Son, J. K., Jo, Y. J., Jung, Y. J., Lee, Y. R., Lee, J., & Jeong, H. S. (2023). Fermentation and Quality Characteristics of Yogurt Treated with *Bifidobacterium longum*. *Nutrients* 2023, Vol. 15, Page 3490, 15(15), 3490. <https://doi.org/10.3390/NU15153490>

Sumi, K., Tagawa, R., Yamazaki, K., Nakayama, K., Ichimura, T., Sanbongi, C., & Nakazato, K. (2023). Nutritional Value of Yogurt as a Protein Source: Digestibility/Absorbability and Effects on Skeletal Muscle. *Nutrients*, 15(20), 4366.
<https://doi.org/10.3390/NU15204366>

TERMOCUPLA TODA INFORMACIÓN 2024. (2020.). Retrieved June 29, 2024, from <https://vvaindustrial.com/equipo/termocupla/>

Vásquez-Villalobos, V., Aredo, V., Velásquez, L., & Lázaro, M. (2015). Propiedades físicoquímicas y aceptabilidad sensorial de yogur de leche descremada de cabra frutado con mango y plátano en pruebas aceleradas. *Scientia Agropecuaria*, 6(3), 177–189.
<https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2015.03.04>

Zhi, N. N., Zong, K., Thakur, K., Qu, J., Shi, J. J., Yang, J. L., Yao, J., & Wei, Z. J. (2018). Development of a dynamic prediction model for shelf-life evaluation of yogurt by using physicochemical, microbiological and sensory parameters. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 42–49. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1336572>

ANEXOS

Figura 24. Antes y después de la implantación del tablero



Figura 25. Antes y después de la implementación de válvulas



Figura 26. Colocación del sensor en la yogurtera mediante un soporte



Figura 27. Diagrama de intervención de temperaturas en el yogur

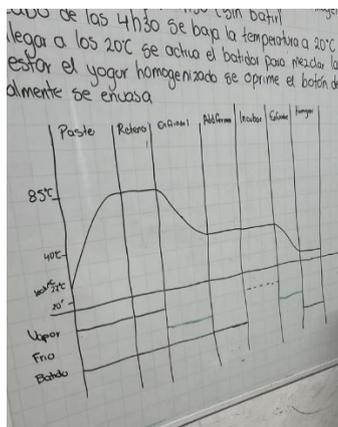


Figura 28. Construcción del Control lógico programable



Figura 29. Estructura par las electroválvulas



Figura 30. Pruebas piloto y producciones manuales y automáticas



Figura 31. Pruebas en Milktester y prueba de etanol

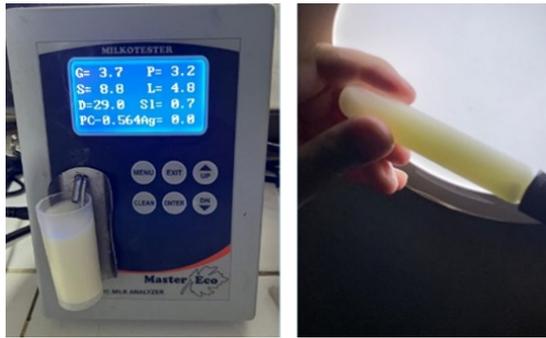


Figura 32. Análisis microbiológico

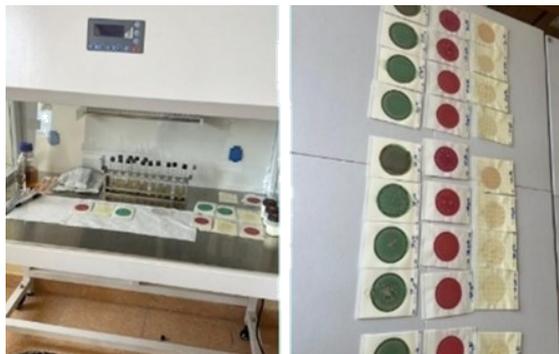


Figura 33. Medición de pH



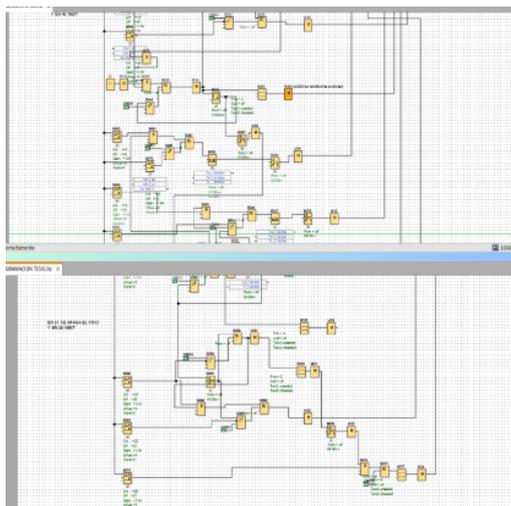
Figura 34. Transporte de muestras



Figura 35. Yogur embotellado



Figura 36. Programación del PLC



MANUAL DE OPERACIÓN

MANUAL DE USO SISTEMA AUTOMATIZADO YOGURTERA



Elaborado por: Karen Moyano
Riobamba, Ecuador, 2025

INDICE

ALCANCE	91
OBJETIVOS:	91
INTRODUCCIÓN:	91
PRECAUSIONES:	91
COMPONENTES Y ACCESORIOS:	92
INFORMACIÓN TÉCNICA:	95
Sensor tipo PT100	95
Electroválvula solenoide vapor	95
PLC LOGO! V8	96
Módulo de expansión LOGO 8	96
Fuente de poder	96
Relé	97
Interruptores termoelectrónicos	97
MODO DE USO:	98
MANTENIMIENTO	104
SOLUCIÓN A POSIBLES PROBLEMAS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Información técnica del sensor.....	95
Tabla 2 Información técnica de la electroválvula.....	95
Tabla 3 Información técnica de LOGO V8.....	96
Tabla 4 Información técnica de módulo de expansión.....	96
Tabla 5 Información técnica de la fuente de poder.....	97
Tabla 6 Información técnica de interruptores.....	97
Tabla 7 Mantenimiento del sensor.....	104
Tabla 8 Mantenimiento de los componentes del PLC	105
Tabla 9 Mantenimiento de las electroválvulas	105
Tabla 10 Contenido de posibles problemas causas y soluciones.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes de la parte interior del tablero.....	92
Figura 2 Exterior del tablero:	93
Figura 3 Interior del equipo.....	93
Figura 4 Exterior del equipo.....	94
Figura 5 Parte baja del equipo	94
Figura 6 Encendido de Breakers.....	98
Figura 7 Purga de vapor de agua	98
Figura 8 Purga de agua fría	99
Figura 9 Tablero de PLC.....	99
Figura 10 Pulsador para purgar y dar inicio a la etapa de incubación.....	100
Figura 11 Ítem de la tarjeta de memoria del LOGO	101
Figura 12 Carga de datos de la tarjeta al programa	101
Figura 13 Selección de la opción Start.....	102
Figura 14 Pasos para transferencia de datos.....	102
Figura 15 Dirección IP para cargar los datos	103
Figura 16 Carga de datos.....	103
Figura 17 Guardar datos de temperatura.....	104

ALCANCE

- Proporciona una detallada guía sobre el proceso de ejecución del sistema, asegurando que todos los operarios o estudiantes sigan el mismo proceso estandarizado, lo que reduce la variabilidad y mejora la calidad del producto.
- Sirve como una herramienta para capacitar a las personas que usen el equipo, ya que posee instrucciones para el uso adecuado, solución a problemas comunes, requisitos previos al uso, protegiendo tanto a operarios como a la planta.

OBJETIVOS:

- Asegurara que todos los usuarios sigan los procedimientos indicados en el presente manual para reducir la variabilidad, mejorando la calidad y la eficiencia de las operaciones.
- Proporcionar un manual educativo que sea claro y detallado que asegure el cumplimiento de procedimientos operativos, indicando sus componentes y sus funciones.

INTRODUCCIÓN:

La implementación del sistema automatizado para el control de temperatura en la yogurtera del CETTEPS se llevó a cabo debido a la falta de control en los procesos de elaboración de yogur cuando se operaban de forma manual. El presente manual tiene como objetivo brindar una guía sobre el uso del sistema automatizado, destacando en las diferencias en las curvas de destrucción de microorganismos entre los dos procesos manual y automático.

En el presente se detallarán las precauciones de uso necesarias para garantizar la seguridad y la eficiencia del sistema, además se describirán los componentes que conforman el tablero, así como los softwares utilizados tanto para la programación como también el paso de datos recogidos a través del sensor durante el proceso de elaboración.

Asimismo, se abordarán los problemas más comunes que pueden surgir durante la operación el sistema automatizado y se proporcionaran posibles soluciones para cada uno de ellos. También está diseñado para asegurar que los usuarios puedan operar el sistema de manera efectiva y segura, optimizando la calidad y consistencia del proceso del yogur.

PRECAUSIONES:

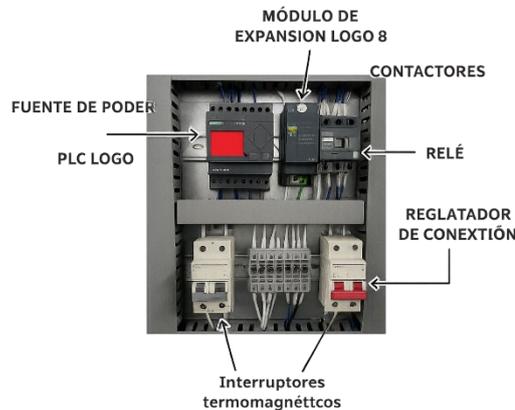
1. Verificar que no haya ningún cable suelto en el tablero.
2. Verificar las conexiones que hay entre el cuarto de equipos y el tablero general.
3. Inspeccionar todos los componentes del tablero, incluyendo el sensor, actuadores, logo, etc, este funcionando correctamente.
4. Asegurarse que todo usuario este capacitado en el uso del sistema y conozca las medidas necesarias para evitar accidentes.
5. En caso de existir choque térmico durante el proceso, purgar inmediatamente.
6. Durante las etapas donde implica temperaturas altas, mantenerse alejado del equipo y no tener contacto directo con el mismo, ya que caso contrario podría sufrir quemaduras.

7. Durante el funcionamiento no bajar los breakers del tablero.
8. En caso de emergencia durante el proceso oprimir de manera inmediata el pulsador de emergencia.

COMPONENTES Y ACCESORIOS:

Figura 1

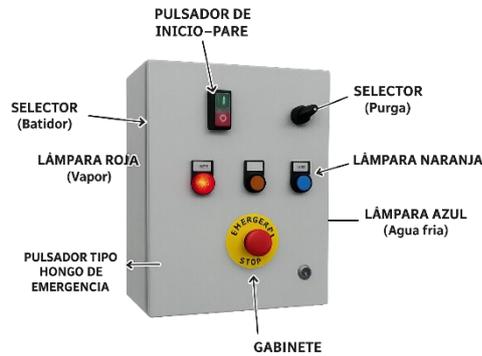
Componentes de la parte interior del tablero



- **Módulo de expansión Logo 8:** Dispositivo que se conecta al PLC Logo para aumentar el número de entradas y salidas, permitiendo controlar minuciosamente cada señal.
- **Contactores:** Dispositivo electromecánico utilizado para controlar el encendido y apagado de los circuitos eléctricos de alta potencia, actuando como interruptores remotos.
- **Relé:** Componente que permite abrir o cerrar circuitos eléctricos mediante una señal de control, es utilizado también para proteger y controlar sistemas eléctricos.
- **Fuente de poder:** Dispositivo que suministra energía eléctrica a los componentes del sistema, asegurando que todos los dispositivos funcionen correctamente.
- **PLC Logo:** Controlador lógico programable de la serie de Siemens, diseñado para la automatización industrial, además es el dispositivo que recoge la información de la programación diseñada anteriormente y recoge los datos de temperatura emitidos por el sensor.
- **Interruptores termomagnéticos:** Son los breakeres de protección que combinan funciones térmicas y magnéticas para interrumpir el flujo de corriente en caso de sobrecarga o cortocircuito.
- **Regleta de conexión:** Material que sirve para organizar y conectar múltiples cables eléctricos en un solo punto, facilitando la distribución de energía y señales en un sistema eléctrico.

Figura 2

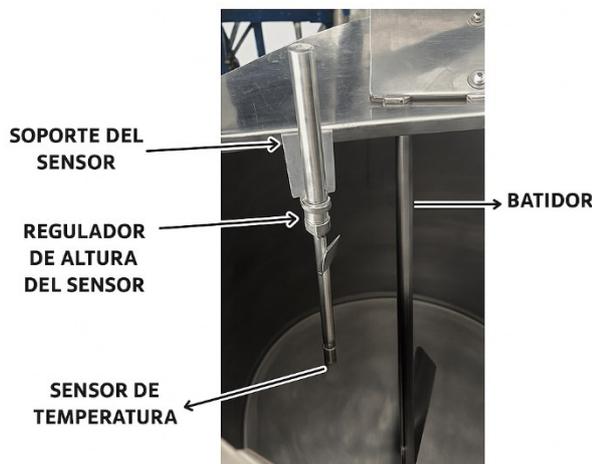
Exterior del tablero:



- **Pulsador inicio-para:** Dispositivo que permite iniciar o detener el funcionamiento del sistema automatizado.
- **Selector:** Interruptor rotatorio que permite elegir entre los diferentes modos de operación manual o automático en el caso de la batidora que funciona con un selector.
- **Lámparas:** Indicadores luminosos que muestran el estado del sistema, o en este caso las lámparas indican la materia que entra al sistema, con la lámpara azul indica la entrada de agua fría, la lámpara roja indica el paso de vapor y la lámpara anaranjada indica que necesita purgarse el sistema.
- **Gabinete:** Estructura en la que se encuentra todos los componentes que conforman el sistema automatizado (PLC, contactores, relés, etc.), permite que todos los componentes estén organizados de daños externos.
- **Pulsador tipo hongo de emergencia:** se utiliza en caso de emergencia para detener todo el proceso de forma inmediata, este pulsador permite detener el proceso rápidamente si se detecta un problema que pueda comprometer la seguridad o la calidad del producto.

Figura 3

Interior del equipo



- **Soporte del sensor:** Estructura que sostiene y posiciona el sensor en el lugar adecuado para realizar las mediciones adecuadas
- **Regulador de altura del sensor:** Mecanismo que permite ajustar la altura del sensor para obtener mediciones precisas en diferentes niveles del producto.
- **Sensor de temperatura:** Dispositivo encargado de medir la temperatura del producto durante todas las etapas de producción del yogur, el sensor es crucial para controlar todas las etapas, asegurando las condiciones óptimas para la calidad del producto.
- **Batidor:** Herramienta utilizada para homogeneizar el producto y mezclar el mismo.

Figura 4

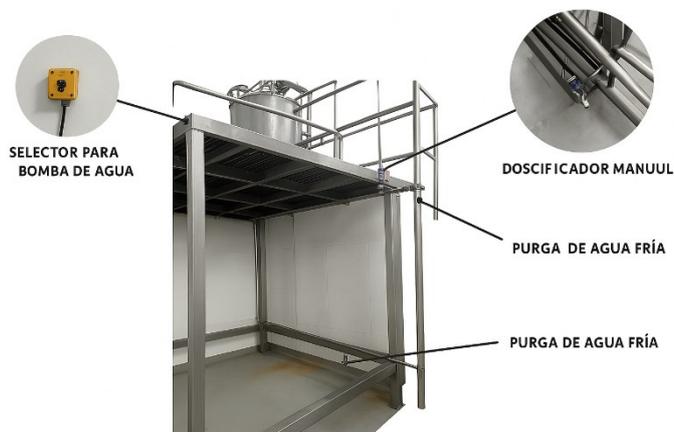
Exterior del equipo



- **Electroválvulas:** Sirven para controlar el flujo de líquido o vapor mediante la señal eléctrica.

Figura 5

Parte baja del equipo



- **Purgas:** Procedimiento para eliminar vapor o líquidos no deseados en un sistema.

- **Dosificador manual:** Dispositivo que se utiliza para poner la cantidad adecuada de yogur en el envase.

INFORMACIÓN TÉCNICA:

A continuación, se muestran las especificaciones técnicas de los componentes del sistema automatizado:

a. Sensor tipo PT100

Tabla 19

Información técnica del sensor

Especificaciones técnicas del sensor	
Rango de trabajo	0°C -200°C
Conexión	4 hilos
Longitud del cable	1m
Dimensiones	D5mm x L100mm
Diámetro de la sonda	6mm
Material de sonda	Acero inoxidable
Resistente al agua	La parte del sensor, no el cable

b. Electroválvula solenoide vapor

Tabla 20

Información técnica de la electroválvula

Especificaciones técnicas ELECTROVALVULA 2/2 110VAC 3/4" BRONCE ALTA TEMPERATURA PARA VAPOR 185° 91176	
Material	Bronce
Medida	3/4
Presión de trabajo	0,03Mpa

Temperatura -10°C – 150°C

c. PLC LOGO! V8

Tabla 21

Información técnica de LOGO V8

Especificación técnica del PLC LOGO	
Modelo	LOGO! V8 Siemens
Fuente de alimentación	20VDC
Comunicación	LOGO!CMR
Modelo CPU	1214 AC/DC/RLY
Lenguaje	Ladder Logic
Software	LOGO! Soft Confort

d. Módulo de expansión LOGO 8

Tabla 22

Información técnica de módulo de expansión

Especificaciones técnicas de módulo de expansión	
Montaje	Sobre perfil normalizado de 35 mm, 2 módulos de ancho
Nº de entradas	4
Señal “0”	0,88mA
Señal “1”	2,1mA
Carga resistiva	10Hz
Carga inductiva	0,5 Hz
Grado de protección IP	IP20

e. Fuente de poder

Tabla 23

Información técnica de la fuente de poder

Especificaciones técnicas de fuente de poder	
Potencia	60W
Voltaje de entrada	110/220 VCA
Voltaje de salida	24V
Intensidad	2.5A

Relé

Tabla 24

Información técnica del Relé

Especificaciones técnicas de Relé	
Dimensiones	12x12x5mm
Amperios	6000 mA
Etiqueta energética	A++

f. **Interruptores termoelectrónicos**

Tabla 25

Información técnica de interruptores

Especificaciones técnicas de Interruptores	
Numero de polos	2P
Corriente nominal	10,15,20,30,40,50 y 60 ^a
Frecuencia nominal	60Hz
Capacidad de Interrupción	6 kA, 10 kA

MODO DE USO:

Antes de usar:

- Asegurarse que el breaker del tablero general esté encendido (TINA POLIVALENTE)
- Encender todos los breakeres del tablero de la yogurtera, tal como se indica en la Figura 6.

Figura 6

Encendido de Breakers



- Asegurar que el tanque esté totalmente purgado
- La purga de vapor condensado debe estar levemente abierto, siendo un indicador de que está fluyendo el vapor, como se indica en la figura 7

Figura 7

Purga de vapor de agua



- La purga de agua Fría debe estar abierta en las etapas de enfriamiento, como se señala en la figura 8.

Figura 8

Purga de agua fría



- Asegurarse que la bomba suene al momento de que se esté utilizando agua fría, hay que resetearle del tablero de agua fría para que las señales se emitan desde el tablero de la yogurtera

Durante el uso:

Etapa de pasteurización:

- Presionar el botón de inicio (color verde). Ver en figura 9
- La temperatura comenzará a ascender hasta los 80 C (la pantalla estará de color rojo dado que el color de referencia a la pasteurización es el rojo). Ver en Ilustración 9

Figura 9

Tablero de PLC



Nota: Cuando entra vapor al sistema la lampará color rojo se encenderá

- Al llegar a los 85° iniciará el proceso de retención por 15 min (la pantalla será de color anaranjado)

Etapa de Enfriado 1 40°C

- Previamente hay que purgar
- Abrir la llave de la purga de agua fría como se indica en la Figura 8.
- La temperatura descenderá hasta los 40° y la pantalla estará de color blanco

Etapa de incubación (4 h30)

- Se cierra la llave de purga de agua fría
- Al llegar a los 40° el sistema automáticamente se apagará
- Se debe purgar totalmente el tanque mediante la válvula de vapor. Ver la Figura 7
- Una vez purgado emite una señal en el pulsador (se gira el pulsador hacia la izquierda y se regresa a la posición inicial)

NOTA: mientras no se dé la señal mediante el pulsador al tablero el programa no continuará.

Figura 10

Pulsador para purgar y dar inicio a la etapa de incubación



- Si en algún momento el sistema baja a una temperatura de 39° C se emitirán pulsos de vapor hasta alcanzar la temperatura de 40°C, por otro lado, si el sistema sube a una temperatura de 41° el sistema mandará pulsos de agua fría

Nota: se debe aprovechar el momento donde el sistema se pausa para añadir el fermento, ya que una vez enviada la señal del pulsador el batidor se activará por un minuto con la finalidad de que el fermento se uniformice con la leche.

Etapa enfriada 2 20°

- Se abre la llave de purga de agua fría.
- Se purga el tanque con la válvula de purga de vapor.
- Una vez llegado a los 20° automáticamente se encenderá el batidor hasta que el operario observe que la textura del yogurt sea la adecuada.
- Una vez obtenida la textura adecuada del yogur se apagará el sistema oprimiendo el botón rojo de PARE.

Traspaso de datos de temperatura:

Antes de iniciar el proceso:

Si necesita exportar los datos de temperatura antes de iniciar el proceso de elaboración debe considerar el siguiente procedimiento para asegurarse que los datos se guarden correctamente en el logo:

- Ingresar al menú del logo y oprimir el ítem “Card”

Figura 11

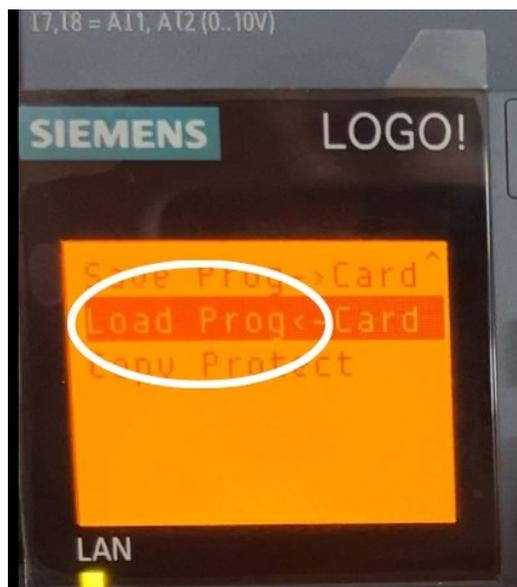
Ítem de la tarjeta de memoria del LOGO



- Identificar la opción donde se carguen los datos desde la tarjeta hasta el programa.

Figura 12

Carga de datos de la tarjeta al programa



- Una vez cargado de la tarjeta al programa, el logo se apagará por 2 segundos y aparecerá nuevamente el menú principal. Finalmente selecciona la opción “Start”.

Figura 13

Selección de la opción Start

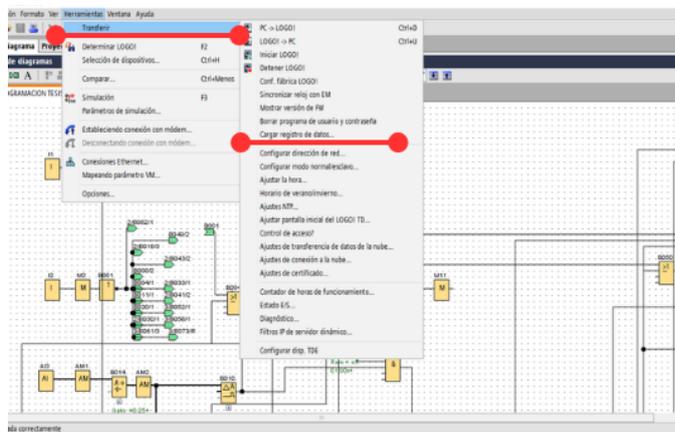


Después de la producción del yogur:

- Mediante un cable de internet, conectar al Logo y el otro extremo a su computadora.
- Para el poder obtener datos es necesario tener los programas *LOGO! Soft Confort 8.0* y *8.3*.
- Abrir el programa
- En la parte superior derecha, presiona el ítem de Herramientas, por consiguiente, la opción Transferir y por último Cargar registro de datos, como se muestra en la figura 11.

Figura 14

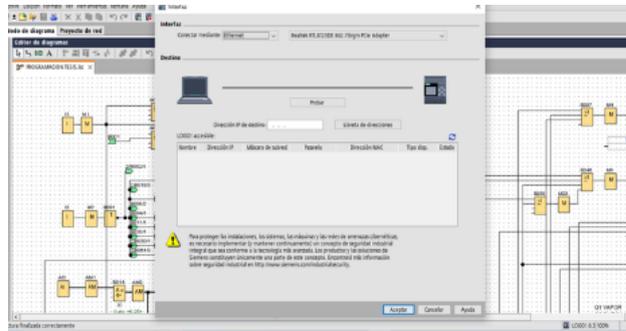
Pasos para transferencia de datos.



- En la figura 12 muestra que se debe proporcionar la dirección IP para que se puedan cargar los datos, en este caso la **DIRECCIÓN IP ES: 192.168.0.110**

Figura 15

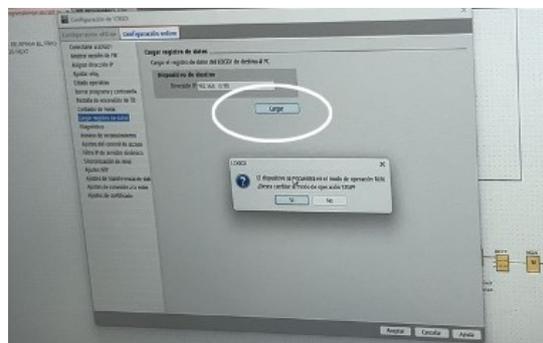
Dirección IP para cargar los datos



- En todos los anuncios que aparecen en el transcurso del paso de datos, se oprime en aceptar.
- En la ventana que aparece en la Figura 13 será el anuncio final para cargar los datos y se oprimirá en la opción de cargar.

Figura 16

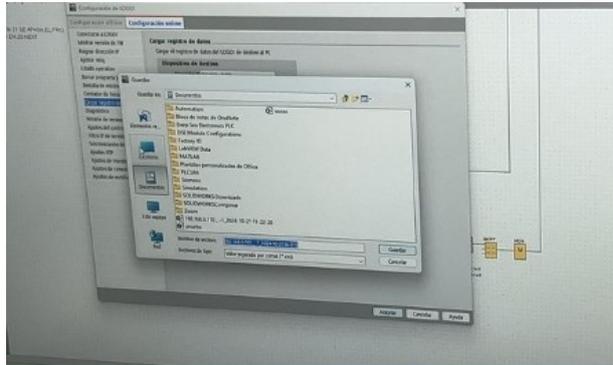
Carga de datos



- Por último, se elegirá la carpeta en donde se guardará el Excel con los datos recolectados por el sensor como se muestra en la figura 14.

Figura 17

Guardar datos de temperatura



Luego de uso:

- Apagar todos los breakeres
- Limpiar el equipo adecuadamente.
- Limpiar cuidadosamente el sensor.

MANTENIMIENTO

Tabla 26

Mantenimiento del sensor

Mantenimiento del sensor		
Inspección periódica	Procedimientos de limpieza	de Rangos de operación
Revisar la integridad del cable de conexión.	Limpiar solo la parte metálica del sensor, hilo debe evitar contacto con la humedad.	No sobrepasarlos límites de temperatura
Verificar que no haya corrosión en los terminales	Evitar sumergir el sensor completamente.	
Comprobar la precisión de las lecturas de temperatura cada 3 meses	Utilizar limpiadores suaves sin disolventes agresivos	

Tabla 27

Mantenimiento de los componentes del PLC

Mantenimiento de Componentes de PLC	
Mantenimiento preventivo	Componentes críticos
Verificar las conexiones eléctricas	Módulo de entrada analógica
Limpiar los espacios de módulos de entrada y salida	Fuente de alimentación

Tabla 28

Mantenimiento de las electroválvulas

Mantenimiento de válvulas	
Vapor y Agua fría	Frecuencia de mantenimiento
Inspección de sellos	Revisión mensual de funcionamiento
Cada 6 meses realizar pruebas de estanqueidad	Limpieza de conductos de flujos
Cada 6 meses hacer verificaciones de actuadores	

SOLUCIÓN A POSIBLES PROBLEMAS

Tabla 29

Contenido de posibles problemas causas y soluciones

Problema	Posible causa	Posible solución
Choque térmico del tanque (Vibraciones del doble fondo)	Al ingresar vapor y enviar agua a la vez, provoca que estos fluidos se choquen y en consecuencia el equipo empieza a vibrar fuertemente.	Inmediatamente purgar el vapor condensado
El agua fría no llega al tanque doble fondo.	La bomba de agua fría está trabajando de forma manual.El banco de hielo no tiene la cantidad adecuado de agua.	Ir al tablero del banco de hielo y resetearlo para que trabaje de forma automática. Asegurarse que la cantidad de agua en el banco de hielo sea la adecuada.
El vapor no llega al tanque doble fondo.	No hay suficiente combustible. No está funcionando adecuadamente el quemador.	Asegurarse de tener la cantidad adecuada de Diesel para todo el proceso. Asegurarse que el quemador esté funcionando correctamente.
Los breakeres del tablero se apagan de forma espontánea.	Puede existir una sobrecarga de corriente que hace que los breakers interrumpan el flujo de carga, provocando que se apaguen.	Verificar si el flujo de agua o de vapor están transportándose adecuadamente al tanque, es decir, que las electroválvulas estén haciendo su trabajo.