



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

TÍTULO:

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA CONTROLAR
LA TEMPERATURA EN EL PASTEURIZADOR DE LA PLANTA DE
LACTEOS DE LA UNACH.**

Trabajo de Titulación para optar el título de Ingeniero

Autor:

Mesías Augusto Guerrero Rodríguez

Tutor:

Mgs. Daniel Alejandro Luna Velasco

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Mesías Augusto Guerrero Rodríguez, con cédula de ciudadanía 0605312446, autor del trabajo de investigación titulado: **Implementación de una metodología para controlar la temperatura en el pasteurizador de la planta de lácteos de la UNACH.**, 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, 30 de mayo del 2024.



Mesías Augusto Guerrero Rodríguez

C.I: 0605312446

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 titulado: **Implementación de una metodología para controlar la temperatura en el pasteurizador de la planta de lácteos de la UNACH**, bajo la autoría de Mesías Augusto Guerrero Rodríguez; 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 15 días de abril del 2024



Firmado electrónicamente por:

DANIEL
ALEJANDRO LUNA
VELASCO

Mgs. Daniel Alejandro Luna Velasco

C.I: 1713065843

2 CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación, **Implementación de una metodología para controlar la temperatura en el pasteurizador de la planta de lácteos de la UNACH**, presentado por Mesías Augusto Guerrero Rodríguez, con cédula de identidad número **0605312446**, bajo la tutoría del Ing. 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 30 días del mes de mayo de 2024.

Ing. Patricia Paredes
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Ángel Silva
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Víctor Valverde
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

CERTIFICADO ANTIPLAGIO



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 03: 28-02-2023

CERTIFICACIÓN

Que, **Mesías Augusto Guerrero Rodríguez** con CC: **0605312446**, estudiante de la carrera **AGROINDUSTRIA**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"Implementación de una metodología para controlar la temperatura en el pasteurizador de la planta de lácteos de la UNACH"**, cumple con el 3 % de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 28 de mayo del 2024



DANIEL ALEJANDRO
LUNA VELASCO

Ing. Daniel Luna Velasco. PhD.
TUTOR

DEDICATORIAS

A DIOS:

*Por todo lo que me ha
regalado en especial mi vida y
a mi familia, por cuidarme y
darme las fuerzas necesarias
cada día para seguir adelante
con mis sueños.*

A MIS PADRES:

*Porque gracias a su esfuerzo y
sacrificio me dieron la oportunidad
de empezar y continuar durante toda
mi trayectoria dentro de las aulas, por
creer en mí y sobre todo por ese apoyo
moral que se ha convertido en el
motor para poder avanzar.*

A MIS HERMANOS:

*Por todos sus consejos, por
ser una pieza fundamental en
mi vida y sobre todo por
demostrar junto con mis
padres que cuento con una
familia.*

A MIS AMIGOS:

*Por formar parte de mi
vida social en las diferentes
etapas durante toda mi
trayectoria estudiantil.*

Mesías Augusto Guerrero Rodríguez

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a Dios por darme la vida y la salud, por permitir crecer en una familia que han sabido inculcarme valores y disciplina, y sobre todo por bendecirme cada día. A mis padres, Misael y Piedad por ese apoyo incondicional y el esfuerzo que cada día han realizado bajo sol o lluvia por tal que no me falte nada durante toda mi etapa de formación estudiantil.

A mis hermanos Wilmer y Alexandra, por la alegría y la satisfacción de saber que contaba siempre con su apoyo, por no permitir que los problemas me hundan y sobre todo por ser parte de mi niñez, pues fueron mis primeros amigos.

A todos mis docentes, quienes han sabido transmitirme sus conocimientos de una manera espectacular, en especial a los de la universidad porque gracias a sus enseñanzas me siento preparado para salir al mundo laboral y un agradecimiento especial también al ingeniero Daniel Luna que en calidad de tutor y al ingeniero Ángel Silva, fueron quienes apoyaron de la mejor manera para poder culminar con este trabajo de titulación.

Mesías Augusto Guerrero Rodríguez

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORIA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Antecedentes.....	14
1.2. Problema.....	15
1.3. Justificación.....	15
1.4. Objetivos.....	17
1.4.1. Objetivo General.....	17
1.4.2. Objetivos Específicos.....	17
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Estado del arte.....	18
2.2. Centro de capacitación, transferencia tecnológica, producción y servicios.....	20
2.2.1. Ubicación geográfica.....	20
2.3. Marco teórico.....	20
2.3.1. Tratamiento térmico de los alimentos.....	20
2.3.2. Importancia de los tratamientos térmicos en los alimentos.....	21
2.3.3. La temperatura.....	21
2.3.4. Efectos de la temperatura en las propiedades de los alimentos.....	21
2.3.5. Pasteurización.....	21
2.3.6. Pasteurización de la leche.....	22
2.3.7. Efectos de la temperatura en las propiedades de la leche.....	22
2.3.8. Equipos para tratamientos térmicos.....	23
2.3.9. Importancia del control de temperatura en la pasteurización de la leche.....	23
2.3.10. Formas de monitorear la temperatura durante la pasteurización.....	24
2.3.11. Automatización de las industrias alimentarias.....	24
2.3.12. Control automático de la temperatura.....	25
2.3.13. Metodologías existentes para un control automático.....	25
2.4. Sistema de control automatizado. HARDWARE.....	25

2.4.1. Controlador lógico programable.....	25
2.4.2. PLC modelo LOGO V8.....	26
2.4.3. Arquitectura.....	28
2.4.4. Fuente de alimentación.....	28
2.4.5. Termocupla tipo J (Rango de temperatura 0-300°C).....	29
2.4.6. Electroválvula de bola.....	29
2.4.7. Sistema de control automático por Histéresis.....	29
2.4.8. Software: Logo! Soft comfort 8.....	30
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	32
3.1. Tipo de investigación.....	32
3.2. Diseño Experimental.....	32
3.3. Materiales, equipos y materia prima.....	32
3.4. Condiciones de pasteurización empleadas.....	33
3.5. Condiciones del proceso de pasteurización antes de automatizar.	33
3.6. Metodología para la implementación del sistema de control automático.....	34
3.6.1. Termocupla tipo J.....	35
3.6.2. Electroválvula de bola roscada.....	35
3.6.3. Electroválvula con accionamiento neumático.....	35
3.6.4. PLC.....	36
3.7. Implementación del sistema de control automático.....	36
3.8. Programación del sistema de control.....	37
3.9. Condiciones del proceso de pasteurización con control automático.....	37
3.10. Método de análisis.....	39
3.11. Técnica de análisis.....	39
3.11.1. Prueba T de Student.....	39
3.11.2. Gráficas de control.....	39
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1. Información preliminar del sistema de pasteurización en el CETTEPS - UNACH.	40
4.1.1. Condiciones de pasteurización con control manual.....	41
4.2. Implementación del sistema de control automático de temperatura mediante PLC.....	42
4.3. Resultados experimentales.....	44
4.3.1. Condiciones de pasteurización con control automático.....	44
4.3.2. Análisis de datos.....	45
4.3.3. Gráficas de control.....	48
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
5.1 Conclusiones.....	50
5.2 Recomendaciones.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Materiales, equipos y MP</i>	33
Tabla 2 <i>Especificaciones técnicas del sensor de temperatura</i>	35
Tabla 3 <i>Especificaciones técnicas (válvula eléctrica SNTC 91172)</i>	35
Tabla 4 <i>Especificaciones técnicas de la válvula eléctrica 2</i>	35
Tabla 5 <i>Especificaciones técnicas del PLC ¡LOGO! V8</i>	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación Geográfica</i>	20
Figura 2 <i>Controlador Lógico Programable (PLC) y sus partes</i>	26
Figura 3 <i>Controlador Lógico programable Logo! V8 siemens</i>	27
Figura 4 <i>Estructura básica del PLC</i>	28
Figura 5 <i>Sistema de control por Histéresis.</i>	30
Figura 6 <i>Logo soft comfort (software de programación)</i>	31
Figura 7 <i>Proceso de pasteurización con operación manual</i>	34
Figura 8 <i>Distribución de válvulas.</i>	36
Figura 9 <i>Proceso de pasteurización con operación automática</i>	38
Figura 10 <i>Sistema para pasteurizar leche</i>	41
Figura 11 <i>Perfiles de Temperatura en la etapa de retención con control manual</i>	42
Figura 12 <i>Esquema de programación en logo soft comfort</i>	43
Figura 13 <i>Perfiles de Temperatura en la etapa de retención con control automático</i>	45
Figura 14 <i>Control manual vs. control automático, caso a</i>	46
Figura 15 <i>Control manual vs. control automático, caso b</i>	46
Figura 16 <i>Control manual vs. control automático, caso c</i>	47
Figura 17 <i>Perfiles de temperatura del proceso completo de pasteurización</i>	48
Figura 18 <i>Gráfica de control para la temperatura en control manual y automático</i>	49
Figura 19 <i>Sistema de tuberías para la circulación de vapor y agua</i>	57
Figura 20 <i>Sistema de purga</i>	57
Figura 21 <i>Implementación de electroválvulas</i>	57
Figura 22 <i>Electroválvula en el sistema de purga</i>	58
Figura 23 <i>Electroválvula en el ducto de agua</i>	58
Figura 24 <i>Tablero de control implementado</i>	58
Figura 25 <i>Tablero de control</i>	58
Figura 26 <i>Electroválvula PGK50-P</i>	59
Figura 27 <i>PLC logo V8</i>	59
Figura 28 <i>Termómetro TP 100</i>	59
Figura 29 <i>Termocupla tipo J</i>	59
Figura 30 <i>Electroválvula STNC 91172</i>	59
Figura 31 <i>Logo web editor, Pantalla de programación</i>	60
Figura 32 <i>Lectura de Temperatura con el sensor</i>	60
Figura 33 <i>Esquema de Programación</i>	61

RESUMEN

En los tratamientos térmicos, la temperatura y el tiempo son cruciales en la calidad de los alimentos al frenar el desarrollo de microorganismos patógenos y conservar sus propiedades nutricionales. En esta investigación se implementó un sistema de control automático que permitió controlar dichas variables en el pasteurizador de leche del CETTEPS-UNACH. Primero, se definió el sistema y luego se procedió a pasteurizar 50, 150 y 250 litros de leche, controlando la temperatura manualmente con un termómetro digital. Durante la etapa de retención se registraron temperaturas entre 61 y 67°C. Considerando que dichos valores no son los adecuados, se decidió implementar un sistema de control automático que se compone de un PLC modelo LOGO V8 de Siemens, una termocupla tipo J, tres electroválvulas acopladas al flujo de vapor, agua fría y purga respectivamente y un Router para la transmisión de señales y control a través del aplicativo logo web editor. con este sistema, se logró controlar y reducir la variabilidad de temperatura en un 86 % ya que al volver a aplicar el tratamiento térmico a 50, 150 y 250 litros de leche, la temperatura durante la etapa de retención osciló entre 62.5 y 63 °C, permaneciendo dentro del rango que la literatura establece. Sin embargo, se permitió una variación de hasta +/- 0.3 °C por posibles fluctuaciones en el equipo. Posteriormente, se comprobó con un 99 % de confiabilidad que existe diferencias significativas entre las dos formas de controlar la temperatura al comparar medias usando la técnica estadística T-student. No obstante, se corroboró mediante graficas de control y en términos de desviación estándar y variabilidad, la diferencia entre los dos tipos de control.

Palabras claves: Tratamiento térmico, Leche, Temperatura, control, PLC, Automático.

ABSTRACT

Regarding thermal treatments, temperature and time are crucial for food quality by slowing pathogenic microorganisms' development and preserving nutritional properties. The researcher implemented an automatic control system to manage these variables in the milk pasteurizer at CETTEPS-UNACH. First, it was essential to define the system. Then, 50, 150, and 250 liters of milk were pasteurized, manually controlling the temperature with a digital thermometer. During the holding stage, temperatures between 61 and 67°C were recorded. Due to these values were not adequate, it was essential to implement an automatic control system composed of a Siemens LOGO V8 PLC, a type J thermocouple, three solenoid valves for steam, cold water, and purge flow, and a router for signal transmission and control through the logo web editor application. With this system, temperature variability was controlled and reduced by 86%. When reapplying the thermal treatment to 50, 150, and 250 liters of milk, the temperature during the holding stage ranged between 62.5 and 63°C, remaining within the range established by the literature. However, a variation of up to +/- 0.3°C was allowed due to possible equipment fluctuations. Subsequently, it was confirmed with 99% reliability that there are significant differences between the two methods of controlling temperature by comparing means using the T-student statistical technique. Nonetheless, the difference between the two types of control was corroborated through control charts and in terms of standard deviation and variability.

Keywords: Thermal treatment, Milk, Temperature, Control, PLC, Automatic.



Firmado electrónicamente por:

JESSICA MARIA
GUARANGA
LEMA

Reviewed by:

Mgs. Jessica María Guaranga Lema

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0606012607

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La leche es uno de los alimentos que proporciona gran cantidad de nutrientes al consumidor, sin embargo, una leche sin tratar se convierte en un riesgo significativo para la salud al ser un medio favorable para el crecimiento de bacterias peligrosas como la *Salmonella*, *E. coli*, *Listeria*, *Campylobacter*, *Mycobacterium tuberculosis*, entre otras. Estas bacterias son causantes comunes de intoxicaciones alimentarias (Food and Drug Administration, [FDA], 2018).

Desde la antigüedad, la leche ha sido considerada como uno de los pocos alimentos equilibrados, es decir, básico para consumidores de cualquier edad por sus cualidades nutritivas pero su manipulación y conservación inadecuada aumenta el riesgo sanitario, con este precedente, se vuelve indispensable aplicar tratamientos o técnicas de conservación para frenar el crecimiento microbiano y por lo tanto reducir el riesgo de contraer enfermedades transmitidas por alimentos (ETAS) en los humanos (Aguilera et al., 2014).

La industria alimentaria se encuentra bajo presión para mejorar la seguridad de sus productos debido al incremento diario en la exigencia de los consumidores por alimentos sanos e inocuos. La Organización Mundial de la Salud (OMS), calcula que cada año mueren alrededor de 1,8 millones de personas por consecuencia del consumo de alimentos contaminados, siendo la leche uno de los principales transmisores de ETAS.

En el Ecuador la industria láctea representa el 6.1 % de la actividad agrícola y ganadera del país (Borja et al., 2022). La producción diaria de leche en el Ecuador hasta el año 2020 fue de 6,15 millones de litros (INEC, 2021). La provincia de Chimborazo se caracteriza por su alta producción de leche, con un promedio de 533.810 litros diarios, lo que representa un 11.42 % del total a nivel nacional que en su mayoría carecen de una buena calidad (Calva, 2022).

El tratamiento térmico más utilizado en la industria láctea es la pasteurización que en definitiva en la mayoría de las Pequeñas y medianas empresas (Pymes) no es la correcta, hoy en día existen metodologías especialmente de control de temperatura en diferentes procesos industriales como por ejemplo los pulsos eléctricos de alta intensidad (PEAI), redes neuronales, controladores lógicos programables, entre otros, que han sido muy útiles para dar solución a este problema (Aguilera et al., 2014).

Mediante la investigación y la ingeniería se ha logrado implementar diferentes sistemas de control automático a ciertas operaciones logrando que las empresas alcancen procesos estandarizados, por ejemplo, la temperatura durante la pasteurización puede ser monitoreada y controlada automáticamente. Existen investigaciones como las de Elizondo (2015), quien logró implementar un sistema de control automático en un pasteurizador de jugos, la de Trujillo (2014) quien logró incorporar un control automático para un intercambiador de calor usado en piscinas, así también la de Gallegos & Ricarte (2016) que optimizaron un proceso de

pasteurización y Sullcahuamán (2017) quien mediante un PLC logró controlar a un pasteurizador de leche materna en una temperatura de 62 – 63 °C.

El sector agroindustrial del Ecuador es deficiente ya que según Martínez J. (2022), en el país las Pymes del sector agroindustrial apenas alcanzan un indicador de madurez industrial (IMI) de 2.06 de 4.0, lo que significa que estamos atrasados en unos 94 años aproximadamente del indicador máximo en la actualidad. Varias empresas especialmente de los países en vías de desarrollo se han interesado por investigar e implementar tecnologías principalmente de control en sus procesos, logrando así una mejora al obtener productos de calidad y volviéndose más competitivas en los mercados nacionales e internacionales.

1.2. Problema

Según Zambrano & Lopez (2018) la industria láctea en el Ecuador ha evolucionado en los últimos años dinamizando la economía, sin embargo, en cuanto a su crecimiento tecnológico y en el área de innovación tecnológica se ha visto estancada, generando la aparición de un gran número de plantas artesanales.

El procesamiento artesanal de lácteos puede generar drásticos escenarios tales como la contaminación cruzada en cualquier fase del proceso, temperaturas distintas a las de pasteurización, bajos rendimientos, entre otros, dando como resultado un deficiente nivel de inocuidad y control del sistema. La pasteurización es una de las principales fuentes de contaminación que se da en la leche ya sea por la falta de higiene en los equipos o la falta de sistemas de control para las variables de tiempo y temperatura produciendo la merma en la calidad y rendimiento de la producción (Baque & Chugchilan, 2019).

La falta de control de temperatura durante la pasteurización afecta considerablemente al producto terminado, por ejemplo, en la elaboración de quesos la temperatura tiene un efecto considerable en el rendimiento, contenido de proteína y debilidad en la cuajada (Azán & Rodas, 2016). Así también la falta de control en la temperatura de pasteurización aumenta la presencia de patógenos en la leche y quesos debido a contaminaciones cruzadas (Saltos et al. 2019).

El equipo de pasteurización del centro de capacitación, transferencia tecnológica producción y servicios (CETTEPS) de la UNACH no cuenta con ningún sistema de control que permita estar seguros de que en dicha operación se alcanzó la temperatura óptima para pasteurizar leche según los requerimientos de los diferentes tipos de quesos a elaborar en las diferentes normativas.

1.3. Justificación

Según Vinuesa (2015), la producción de leche en Chimborazo es de 15, 20 litros vaca/día, sin embargo, autores como Ramirez & Lluman (2020) y Paucar (2021), mencionan que existe una calidad microbiológica deficiente en los centros de acopio de leche en Chimborazo. En una investigación, Moreno & Zúñiga (2019), determinaron que dentro de la

provincia de Chimborazo el 62.22 % de las principales granjas productoras de leche realizan un ordeño manual y de los cuales apenas el 20 % ha sido capacitado en BPO, a su vez, solo el 71.11 % de las granjas realizan el despunte para descartar los primeros chorros de leche y por ende disminuir el recuento de bacterias, solo el 60 % de las granjas realizan el sellado de pezones con solución de yodo y lo más grave es que el 64.44 % de las granjas no refrigeran la leche tras el ordeño debido a que no poseen tanques de refrigeración, todo esto ocasiona el crecimiento exponencial de microorganismos patógenos en la leche convirtiéndole en una materia prima de mala calidad.

La demanda de productos lácteos de mayor calidad y el crecimiento del mercado actual, hace necesario la implementación nuevas tecnologías a las líneas de producción buscando estandarizar procesos, es decir que el rango de variabilidad de las características entre un lote de producción y otro sea casi nulo. Por tal motivo, el propósito de este proyecto de investigación fue implementar un sistema de monitoreo y control automático para la temperatura de la leche dentro de la marmita buscando conseguir que dicho proceso se desarrolle de manera estándar cualquier cantidad de veces.

Se ha optado por implementarse un PLC ya que tiene una gran aplicabilidad en las industrias y al ser una operación que se da en un equipo convencional, no resulta coherente adecuar otros tipos de controladores como los que se basan en la IA (inteligencia artificial) con redes neuronales porque además de ser muy costosos, aun no existe evidencia suficiente de que se lo haya aplicado a un intercambiador de calor como la marmita.

Por otra parte, la implementación de una metodología ampliamente utilizada en la industria brinda acceso a información que va desde su montaje hasta su programación y puesta en marcha garantizando su funcionamiento y facilitando así el desarrollo de la investigación. Aplicar esta metodología ha traído consigo ventajas significativas, entre ellas, la obtención de leche pasteurizada con consistencia casi similar entre lotes de producción sobre todo en la etapa de retención también sirve como base para investigaciones futuras puesto que facilita el estudio del comportamiento de otros factores que se quiera analizar en las líneas de producción de quesos como por ejemplo el comportamiento de diferentes tipos de cuajo, fermentos, leches, etc. Además, la disminución del riesgo de contaminación cruzada, la interacción de los estudiantes con los procesos industriales, la mejora en la calidad de los productos finales, el mejoramiento de los sistemas de gestión, el ahorro de recursos, entre otros.

Existen diversas formas de controlar la temperatura especialmente en intercambiadores de calor, estas pueden ser manuales o involucrando sistemas tecnológicos de control, cuando se trata se procesos como la pasteurización en los que la temperatura juega un papel fundamental, un control manual no es suficiente, debido a varios factores, entre ellos está la reacción del operario para abrir o cerrar válvulas y la distancia a la que se encuentren, las fluctuaciones del equipo, el equilibrio térmico entre el termómetro y la leche, etc.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Implementar una metodología para controlar la temperatura en el equipo de pasteurización utilizado para elaborar quesos, en la planta de lácteos de la UNACH

1.4.2. Objetivos Específicos

- Levantar información de las condiciones de trabajo antes de la automatización, en el equipo de pasteurización de leche para quesos en la planta de lácteos de la UNACH.
- Implementar un controlador lógico programable (PLC) en el equipo de pasteurización en la planta de lácteos de la UNACH.
- Realizar pruebas de funcionamiento a diferentes temperaturas, volúmenes y tiempos de pasteurización con la metodología implementada.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

La pasteurización inventada por Louis Pasteur en 1864 se ha convertido desde entonces en una de las operaciones unitarias más utilizadas dentro del mundo alimenticio con la que se busca frenar la actividad microbiana y enzimática aplicando una carga térmica al alimento permitiendo conservar por más tiempo. Benitez (2014) señala que los problemas en los pasteurizadores tradicionales son el retardo del tiempo, el desperdicio de energía y la baja calidad del producto, un retardo en el tiempo ocurre desde el instante en el que se produce un cambio en alguna de las variables de entrada del proceso como por ejemplo la temperatura, hasta el instante en el que se puede notar su cambio en la salida, este puede ser un aumento o disminución de esta misma variable, minimizar este inconveniente es posible mediante la aplicación de un sistema de control de temperatura donde se pueda notar algunas ventajas como el mejoramiento en la calidad del producto, mayor productividad, ahorros en la energía, reducción de mano de obra, entre otros aspectos que lo vuelven a una empresa más eficiente.

La industria láctea se interesa por la incorporación de recursos tecnológicos en sus procesos con el fin de innovar y estandarizarlos, buscando minimizar costos de producción y mejorar la calidad. Nuevas tecnologías especialmente en la pasteurización se han vuelto prometedoras según las investigaciones, tal es el caso de la PEAI (Pulsos eléctricos de alta intensidad) que según Martín (2018), es un método de pasteurización alternativo a los de transferencia de calor, el cual consiste en aplicar un alto voltaje eléctrico sobre el alimento por microsegundos, logrando la inactivación de microorganismos patógenos y a su vez, por el hecho de trabajar a bajas temperaturas, se conservan las características nutricionales y sensoriales del alimento, los pulsos eléctricos se convertirían en una alternativa eficiente a los intercambiadores de calor.

Un sistema de pasteurización convencional al ser automatizado se vuelve más eficiente. Aldaz & Flor (2016), señalan que las industrias del Ecuador cada día se interesan por automatizar y mejorar sus sistemas de producción, mencionan además que el principal objetivo es erradicar actividades indebidas y antihigiénicas de los operarios incorporando diferentes tecnologías por ejemplo para el control inteligente de temperatura, consideran una opción bastante viable el uso de redes neuronales artificiales (RNA) en procesos no lineales como los intercambiadores de calor, inyectores de plásticos, visión artificial, robótica, entre otros y que a pesar de que en el Ecuador existe muy pocas investigaciones sobre este tema, en otros países como Colombia ya se ha investigado la aplicación de esta tecnología en el área de pasteurización.

Aldas & Flor (2016) desarrollaron un sistema de control basado en las redes neuronales para un pasteurizador de leche con el que pudieron sustituir las actividades del operario por un sistema automatizado, si bien es cierto que algunas actividades como el ingreso de materia

prima a la marmita no pudieron ser automatizadas, otras como la lectura de temperatura, homogenización, medición de tiempo y la apertura de válvulas pudieron ser ejecutadas por la inteligencia artificial, logrando mejorar la calidad del producto final.

Elizondo en el año 2015, implementó un sistema de control automático para la pasteurización de jugos naturales y logró la activación de válvulas para enviar el líquido a los tanques de enfriamiento después de que se haya cumplido los requisitos de temperatura y tiempo permitiendo observar las variables como indicadores gráficos y en tiempo real para una fácil lectura y entendimiento de la evolución del proceso a través del tiempo y también disminuyendo la probabilidad de la regeneración microbiana que reduzca la calidad del producto final.

Trujillo en el año 2014 logró incorporar un sistema de control de temperatura en un intercambiador de calor usado para calentar el agua de una piscina, hidromasaje y baño turco en un recinto turístico de nombre “EL MOLINO” con la implementación de un controlador lógico programable (PLC), donde de manera automática pudo elevar y mantener en temperaturas de confort entre 26 y 27 °C a los lugares antes mencionado; considerando que un PLC es una tecnología sencilla de aplicar que permite automatizar procesos con programaciones personalizadas, funciona con señales recibidas mediante sensores, procesan información y envían señales a actuadores para que ejecuten una acción por ejemplo la de abrir o cerrar válvulas en ductos que conducen vapor, resulta ser una metodología bastante aceptable para incorporar en esta investigación.

Sullcahuamán (2017), logró construir un prototipo con control automático de temperatura para el banco de leche materna del Instituto Nacional Materno Perinatal del Perú, alcanzó condiciones adecuadas de pasteurización de leche materna que al ser uno de los principales alimentos de los recién nacidos necesita mantener todos sus nutrientes, anticuerpos, vitaminas, etc. y a su vez estar libre de cualquier célula patógena. Las condiciones de pasteurización de la leche materna deben ser de 62.5 °C por 30 minutos en una pasteurización VAT y con dicho sistema de control logró mantener en un rango de 62 a 63 °C, es decir obtuvo un margen de error de +/- 0.5 °C.

Gallegos & Ricaurte (2016) lograron optimizar el proceso de pasteurización de leche con un controlador lógico programable (PLC) partiendo de un levantamiento de información para conocer las condiciones de funcionamiento del sistema, posteriormente la instalación del equipo de control y seguido de una programación mediante el programa TIA portal V13 donde las entradas analógicas principalmente se basaron en las diferentes temperaturas de pasteurización, alcanzaron a reducir el tiempo de producción al mínimo, logrando pasteurizar la misma cantidad de leche con menos recursos.

En una investigación realizada por Gonzáles & Armas (2015), probaron el funcionamiento de un control automático mediante PLC en la pasteurización de una base láctea para elaborar helados y se logró el correcto funcionamiento de dicho sistema ya que hubo un calentamiento hasta los 85 °C con un punto máximo de variación de +/- 2°C y un óptimo

enfriamiento en tres fases, hasta alcanzar los 5 °C con un error de +/- 2°C que a su vez son parámetros solicitados por la empresa donde se realizó la investigación.

2.2. Centro de capacitación, transferencia tecnológica, producción y servicios

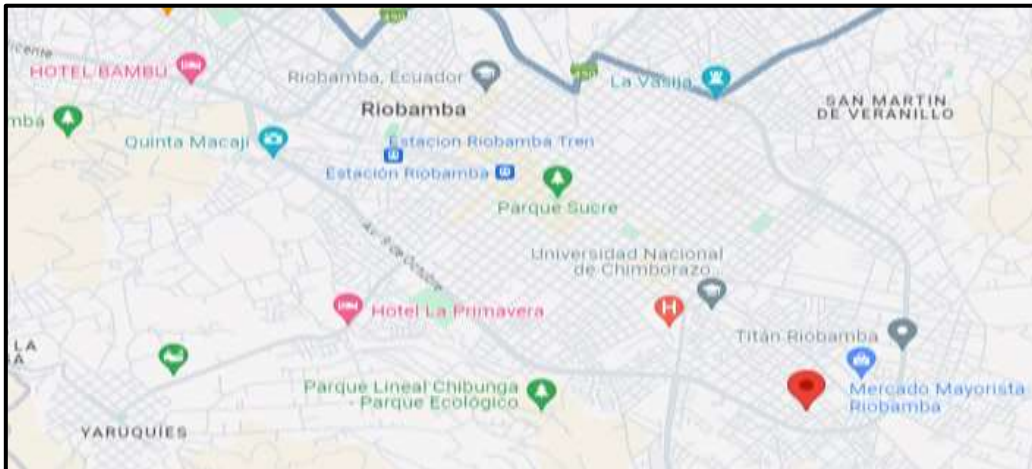
El CETTEPS de la UNACH es una planta piloto de lácteos dedicada al fortalecimiento académico de los estudiantes en la elaboración de diferentes derivados lácteos, su proceso productivo consta de varios subprocesos en los cuales se busca dar el valor agregado a la materia prima, además sirve como centro de operaciones para diferentes proyectos de investigación dentro de esta industria.

2.2.1. Ubicación geográfica

El lugar donde se implementó el sistema de control automático para controlar la temperatura en el pasteurizador de leche es el CETTEPS de la UNACH, se encuentra localizado en Ecuador, provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, sector del Mayorista.

Figura 1

Ubicación Geográfica



Nota. Adaptado de Google Maps (2024).

2.3. Marco teórico

2.3.1. Tratamiento térmico de los alimentos

Un tratamiento térmico en los alimentos es un proceso controlado de calentamiento, retención y enfriamiento con el objetivo principal de eliminar la carga microbiana principalmente de bacterias, virus, mohos y levaduras y a su vez inactivar a ciertas enzimas responsables de la degradación de cualquier alimento, puesto que el calor tiene un efecto destructivo tanto en patógenos como en la degradación de vitaminas, desnaturalización de proteínas, gelificación de almidones, caramelización de azúcares, modificación de aromas y sabores, entre otros (Llosa, 2017).

2.3.2. Importancia de los tratamientos térmicos en los alimentos

La contaminación ambiental, el cambio climático y el crecimiento descontrolado de la población hace que las probabilidades de infección con ETAS sea mayor lo que obliga a buscar alternativas para garantizar una seguridad alimentaria optima, por tal motivo, los consumidores exigen alimentos de mejor calidad lo que conlleva a la necesidad de optimizar los tratamientos térmicos, y eso significa realizar estos procesos en condiciones mínimas de abuso térmico es decir, regular la temperatura y el tiempo para conseguir la cocción y destrucción de microorganismos, tratando de conservar sus características organolépticas y nutricionales (Llosa, 2017).

2.3.3. La temperatura

La temperatura es una propiedad intensiva de la materia, es una magnitud física que permite medir el grado de calor, las propiedades físicas de la materia dependen de la temperatura, así el agua se transforma en hielo o viceversa, sin embargo nuestra percepción intuitiva asocia a la temperatura con la sensación de frío o caliente pero no es precisa, es decir con el sentido del tacto no se puede medir dicha magnitud física puesto que nuestros sentidos mezclan los efectos de la temperatura y los de la transferencia de calor, para ello se han creado los dispositivos llamados termómetros quienes miden la energía cinética promedio del movimiento de las partículas en diferentes escalas, siendo la más utilizada los grados Celsius o centígrados (Picquart & Carrasco, 2017).

2.3.4. Efectos de la temperatura en las propiedades de los alimentos

Tratar térmicamente a un alimento implica someterlo a temperaturas elevadas con la consecuente ventaja de eliminar microorganismos, también tiene sus repercusiones como la de alterar o modificar las propiedades de un alimento. Arias (2016), explica que cada tratamiento térmico dependiendo de las temperaturas utilizadas tienen un efecto tanto positivo como negativo sobre la calidad nutricional, por ejemplo con el escaldado no se afectan las propiedades físico-químicas, pero si su calidad nutricional afectando principalmente a la calidad sensorial, con la esterilización se producen cambios en el valor nutritivo ya que por encima de los 50 °C algunas vitaminas hidrosolubles empiezan a degradarse al igual que con la cocción, en cambio, con técnicas como la refrigeración no se notan cambios drásticos ni en la calidad ni en el valor nutricional en comparación con la congelación que si afecta nutricionalmente con la pérdida de vitaminas o cambios en la estructura por la formación de cristales.

2.3.5. Pasteurización

Una de las operaciones unitarias más utilizada en la industria alimentaria fue inventada por Louis Pasteur en el siglo XIX. Este proceso consiste en un tratamiento térmico aplicado al alimento directa o indirectamente con el fin de hacer que aumente su energía interna lo que permitirá la reducción considerable de los microorganismos patógenos logrando así extender la vida útil de los alimentos, en este proceso el tiempo juega un papel muy importante ya que si el calentamiento en la pasteurización es muy rápido, no se destruye el número suficiente de

microorganismos ocasionando que en unos días se regeneren exponencialmente hasta convertirse en un peligro para la salud de quien lo consume (Martinez & Rosenberger, 2014).

2.3.6. Pasteurización de la leche.

La pasteurización es un proceso térmico que sirve para la conservación de alimentos cuyo objetivo principal es eliminar microorganismos patógenos e inactivar enzimas, en dicho proceso interviene el tiempo y la temperatura y de dichas variables dependerá para obtener un producto inocuo, existen diferentes tipos que asocian condiciones de pasteurización tal es el caso que para la pasteurización VAT o lenta sus condiciones son 63 °C por 30 minutos, para la pasteurización rápida es 72 °C por 15 segundos y la UHT es 135 – 149 °C por 2 a 8 segundos y luego requiere ser envasada en un recipiente aséptico (Cabrera, 2017).

Hoy en día en todo el mundo se usa la pasteurización ya que es un procedimiento científico y sencillo que inhibe el crecimiento microbiano conservando al máximo las propiedades nutritivas de este alimento, la pasteurización no es más que un simple proceso de filtración, calentamiento súbito y largo a una temperatura controlada y una etapa de enfriamiento muy rápido hasta una temperatura de refrigeración o a su vez hasta cuando entra en un proceso de fermentación o condensación de sus proteínas para transformarse en los diferentes derivados lácteos que existen y por último en frascos estériles para ser comercializada (Aldaz & Flor, 2016).

2.3.7. Efectos de la temperatura en las propiedades de la leche

La leche recibe un proceso de higienización y pasteurización para conseguir la inactivación de enzimas y muerte térmica de los microorganismos, pero también sufre daños tecnológicos sobre su naturaleza biológica tanto en proteínas como en vitaminas y también sobre sus características organolépticas como el color, olor y sabor, estos daños están en función del tiempo y temperatura a la que es sometida la leche (Valdivia, 2017).

Según Valdivia (2017), la leche sufre varios daños, tal es el caso de las micelas de caseína y los glóbulos de grasa que también son modificados en su frágil integridad, en el caso de las proteínas el calor puede experimentar una lixiviación o una degradación, en cuanto a las vitaminas, y minerales como el calcio son los que más se pierden, así mismo ocurre con la lactosa, el principal azúcar de la leche que al estar sometida a altas temperaturas por largos lapsos de tiempo produce las llamadas reacciones de Maillard, así mismo, la actividad enzimática que se ve detenida por la desnaturalización de las mismas.

La pasteurización provoca pequeños cambios en el color, sabor y apariencia de la leche a partir de los 85 – 90 °C, así mismo, una reducción significativa del valor nutricional provoca una desnaturalización mínima de la proteína del suero 5 – 15 %., Con respecto a los nutrientes propios de la leche, por encima de los 45 °C la grasa empieza a fundirse y a medida que aumenta la temperatura la grasa tiende a separarse de la emulsión, en cambio, la micela de caseína que es más estable al calor puede resistir temperaturas de 140 °C por 10 min antes de desnaturalizarse, las velocidades de reacción química son menos sensibles al calor que las tasas

de inactivación microbianas, por eso, usar temperaturas altas en cortos tiempos produce menos cambios químicos para un nivel equivalente a la inactivación microbiana obtenida (González & Armas, 2015).

2.3.8. Equipos para tratamientos térmicos

Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor según Flego (2019), son equipos que permiten transferir calor de un lugar a otro de manera específica mediante conducción y convección, por lo general dichas transferencias de calor se dan de un fluido (gas o líquido) a otro fluido sin que haya contacto directo entre estos, existen de varios tipos, están los de carcasa y tubo, placas y los de sistema abierto como las ollas doble fondo, también se los conoce en función del fluido que puede estar en flujo paralelo, contraflujo o flujo cruzado. Sus principales funciones son:

- Calentar un fluido frío empleando un fluido con mayor temperatura
- Reducir la temperatura de un fluido empleando un fluido con menor temperatura
- Condensar un fluido gaseoso por medio de un fluido frío
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso sobrecalentado.

Olla de tres camisas

La marmita, tina polivalente u olla doble fondo como se le conoce al recipiente que sirve para pasteurizar leche posee una doble capa de aluminio que se encuentran separadas entre sí un espacio considerable por el cual circula el fluido de trabajo cuya función es ceder o quitar calor, por lo general trabajan con vapor que se condensa cuando circula por dicho espacio, existen de diferentes tipos, los intercambiadores con doble camisa lisa, de camisa embobinada de medio tubo y de camisa con hoyuelos, no obstante, todas cumplen la misma función, es fabricado de acero inoxidable y conformado por 2 o incluso 3 capas donde la primera es hueca y sirve para la distribución del vapor por todo el equipo y la segunda está constituida de fibra de vidrio que sirve como aislante térmico para lograr reducir el coeficiente de transferencia de calor y mantener la leche en un rango de temperatura específico (35 – 38°C) para elaborar quesos (Calo, 2022).

2.3.9. Importancia del control de temperatura en la pasteurización de la leche

Es importante controlar la temperatura durante el proceso de pasteurización ya que junto con el tiempo son las variables las cuales determinarán la calidad del producto terminado, por su parte, la temperatura a la que se pasteurice especialmente la leche dependerá del tipo de derivado lácteo que se quiera elaborar, es importante saber la temperatura a la que se va a pasteurizar y el tiempo de retención para tratar de suministrar o quitar calor al sistema y mantener alrededor de dicho valor.

2.3.10. Formas de monitorear la temperatura durante la pasteurización

Existen varias formas de para hacer tomas de temperatura desde las que se usa el sentido del tacto para tener un dato referencial a la temperatura corporal del cuerpo humano, termómetros de mercurio, dispositivos eléctricos como los termómetros digitales o analógicos, sensores hasta termómetros de infrarrojo que nos dan una lectura de esta variable sin hacer contacto con el cuerpo en cualquiera de sus escalas. Los dispositivos utilizados dependerán mucho de la aplicación que se le esté dando, por ejemplo, en la industria alimentaria se ha optado por los termómetros de mercurio, y a medida que la tecnología se ha desarrollado están los termómetros analógicos, últimamente buscando tratamientos más estrictos y estándares se ha optado por los sensores de temperatura eléctricos como las termocuplas que han resultado ser más efectivos (Borja, Andrade, & Salazar, 2022).

2.3.11. Automatización de las industrias alimentarias

Se entiende por automatización industrial a la aplicación de diferentes tecnologías existentes en la actualidad para monitorear y controlar un proceso, máquina o dispositivo que realiza tareas repetidas veces o en condiciones extremas o peligrosas, lo que se consigue con la automatización es obtener una mayor cantidad de productos en el menor tiempo posible y con una intervención mínima del humano (Aldaz & Flor, 2016).

Es el uso de tecnología y sistemas de control para mejorar la eficiencia y calidad de los diferentes procesos de producción dentro del mundo alimenticio empleando sistemas como sensores, actuadores, controladores y software que permiten un mayor control sin la necesidad de la intervención de la mano del hombre con el principal objetivo de mejorar la calidad y a su vez abaratar costos, este proceso industrial que puede ser parcial o total se debe considerar algunos factores como la seguridad del operario, los costos, beneficios, volúmenes de producción, vida útil del sistema, etc. (Vega, 2019).

Ventajas de la automatización

Automatizar un proceso implica una serie de ventajas para la empresa que lo maneja, por ejemplo:

- Mejora la eficiencia, puesto que con la automatización se puede acelerar los tiempos de producción permitiendo a las empresas producir más en menos tiempo.
- Reducción de costos, al tener un proceso automatizado, no se requiere de mano de obra, por lo tanto, los costos disminuirán al mismo tiempo que el riesgo de que ocurra algún error o desperdicio.
- La seguridad aumenta puesto que se reduce los riesgos de que un operario pueda sufrir un accidente, además el sistema puede parar inmediatamente apenas detecte una anomalía.
- Mejorar la calidad ya que se puede tener procesos estandarizados que mejore la calidad del producto final.

- Mejora el monitoreo y control de ciertos puntos críticos y en tiempo real lo que da lugar a prevenir problemas como un aumento incontrolable de la temperatura (LARCOTRONIC , 2021).

Desventajas de la automatización

Un proceso automatizado no solo tiene ventajas, sino que las desventajas que presenta hacen que no todas las empresas opten por implementarlo, una de las mayores desventajas es:

- El desempleo que ocasiona, si todas las empresas automatizaran sus procesos, ocasionaría una crisis económica global.
- El depender de la tecnología puede ser un riesgo ya que en el caso de que los sistemas fallaran por algún factor externo ambiental, no se tendría el personal capacitado suficiente para arreglar, por otro lado, la radiación que emana los equipos electrónicos acarrearía enfermedades.
- Los costos de implementación, la tecnología cuesta y en su mayoría las empresas pequeñas no están en la capacidad de automatizar sus procesos, etc. (Vega, 2019).

2.3.12. Control automático de la temperatura

Según Sanchez et al., (2020), un control automático de temperatura consiste en un sistema autónomo que permite controlar la temperatura en el sistema en un rango deseado a través de sensores (termocuplas) que detectan la señal, procesadores (PLC) y actuadores (electroválvulas) que ejecutan la acción, permitiendo o no el paso del suministro de calor que puede ser un fluido como el vapor de agua para el calentamiento de una sustancia, aquí no existe la necesidad de que el operario se encuentre midiendo o abriendo y cerrando válvulas.

2.3.13. Metodologías existentes para un control automático

Existen varias formas para controlar la temperatura en un pasteurizador entre las que están:

- El control de razón (ON/OFF) que consiste en encender y apagar al 100 % una válvula, lampara, etc.
- El control por histéresis
- El control Proporcional (P)
- El control Proporcional-Integrativo (PI)
- El control PID (proporcional, integral y derivativo) (González & Armas, 2015).

2.4. Sistema de control automatizado. HARDWARE

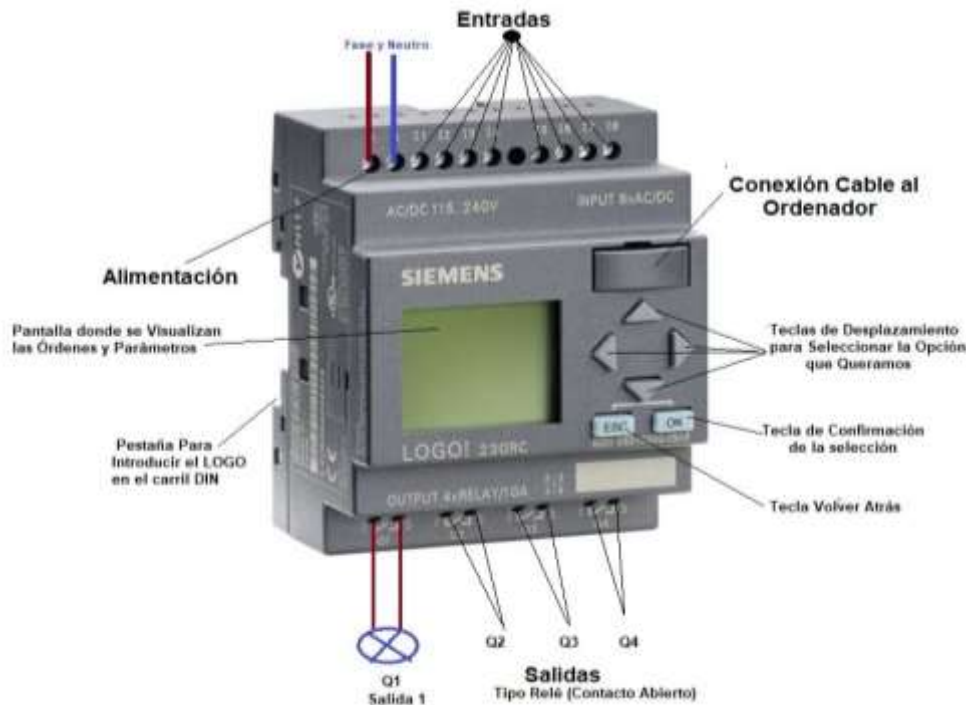
2.4.1. Controlador lógico programable

Un PLC se define como un equipo electrónico con una memoria que almacena instrucciones la cual permite desarrollar funciones específicas en procesos electromecánicos, electroneumáticos, electrohidráulicos, así como el control de máquinas o procesos productivos en tiempo real (Vizcaíno, 2022).

Un PLC es un dispositivo electrónico programable diseñado para realizar funciones de control en gran variedad de procesos industriales que se desarrollan en máquinas, empleando este dispositivo se logra la automatización ya que al contar con entradas, salidas y memorias realiza las acciones para las que fue programado (Molina, y otros, 2019).

Figura 2

Controlador Lógico Programable (PLC) y sus partes



Nota. Adaptado de AREATECNOLOGIA, (2024).

2.4.2. PLC modelo LOGO V8

LOGO se trata de un controlador lógico programable que se destaca por su gran capacidad de integración con buses estándar industriales, a pesar de ser de tamaño pequeño es capaz de ejecutar diversas tareas automáticas con gran precisión (AUTICOM, 2022).

El PLC logo V8 de la compañía siemens es un pequeño autómatas compacto que ofrece notables características tanto en software como en hardware para su uso en automatizaciones a pequeña escala para actividades domésticas o pequeñas aplicaciones industriales, cuenta con módulos de expansión que permite ampliar sus conexiones entre entradas y salidas y un lenguaje 100% gráfico que facilita su programación y aprendizaje (Machay, 2017).

Según Fernandez (2017), el PLC logo 8 es una de las versiones más recientes quien posee varias características que lo convierte en una buena opción para automatizar, entre las que se destacan están:

- Posee 8 entradas (referenciadas a la fuente de alimentación)
- Tiene 4 salidas (por relevo o transistor)
- Puede encontrarse con pantalla LCD o sin ella
- Se puede conectar a través de una red ethernet.

Figura 3

Controlador Lógico programable Logo! V8 siemens



Nota. Adaptado de Fernandez, (2017).

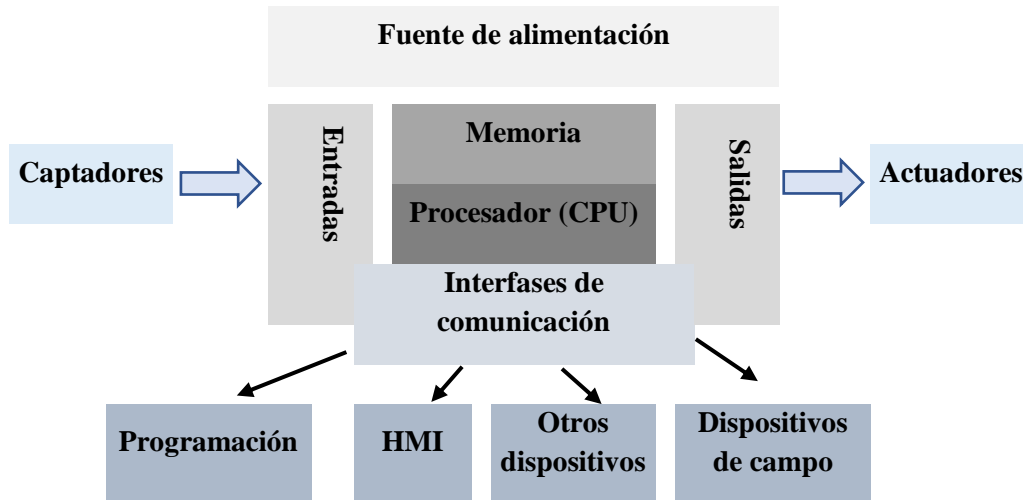
Partes de un PLC logo V8

- Fuente de alimentación
- Entradas al PLC LOGO
- Salidas al PLC LOGO
- Interfaz para tarjeta Micro SD
- Interfaz para módulos de expansión
- Interfaz para visualizar textos
- Interfaz para la comunicación ethernet
- Borne FE para conectar el cable de tierra
- 1 LED para señalar el estado de la comunicación ethernet
- Teclas de control
- Display retroiluminado (Gonzáles J. , 2023)

2.4.3. Arquitectura

Figura 4

Estructura básica del PLC



La arquitectura se refiere a la configuración interna de un PLC que consta de bloques como el bus interno que conecta la CPU, la memoria de programa y de trabajo interna (RAM) y los puertos de entradas y salidas, todas las instrucciones de un programa de usuario se encuentran almacenadas en la memoria del PLC y ejecutan comandos de control a partir de las señales recibidas, una vez detectado cambios en las señales el PLC sigue las instrucciones del programa hasta adquirir los respectivos comandos de salida, este proceso se repite ininidad de veces hasta mantener el proceso controlado, además, el PLC también realiza constantemente pruebas para verificar su funcionamiento tanto de CPU, memoria y reloj interno (Roque & Serna, 2022).

Los PLC integran ciertos componentes que tiene una función en específico y que al juntarlas realizan un trabajo en común, entre ellas están; el CPU, Entradas, Salidas, Fuente de alimentación, Interfases, la unidad o consola de programación, los dispositivos periféricos, etc. La mayoría de las variables físicas como temperatura, presión, nivel, fuerza, velocidad, aceleración, entre otras, no son eléctricas y para convertirlas en eléctricas se lo realiza a través de dispositivos llamados sensores quienes captan señales eléctricas que pueden ser análogas o digitales, para que el CPU realice su operación (Rodríguez, 2023).

2.4.4. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para que funcione los diferentes circuitos del sistema, convierte la tensión alta de 110Vca o 220Vca a una tensión baja de 24Vcc, en cualquier caso, la CPU alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno. La alimentación a los circuitos de entrada y salida puede realizarse, según tipos, en alterna a 48/110/220 Vca o en continua a 12/24/48 Vcc. La fuente de alimentación del autómatas puede incorporar una batería tampón, que se utiliza para el mantenimiento de algunas posiciones

internas y del programa usuario en memoria RAM, cuando falla la alimentación o se apaga el autómeta (Tola, 2021).

2.4.5. Termocupla tipo J (Rango de temperatura 0-300°C)

Una termocupla tipo J es un tipo de termopar que utiliza una unión de soldadura de hierro-Constantán (aleación cobre – níquel). La termocupla tipo J genera una pequeña corriente eléctrica cuando hay una diferencia de temperatura en la unión de soldadura entre el alambre de hierro (termoelemento positivo) y el alambre de Constantán (termoelemento negativo). La magnitud de esta corriente se correlaciona con la diferencia de temperatura y se puede utilizar para determinar la temperatura (TC-S.A, s.f.)

Es importante tener en cuenta que las termocuplas tienen diferentes rangos de temperatura según el tipo y la aplicación específica. En el caso de la termocupla tipo J mencionada (rango 0-300°C), es especialmente adecuada para aplicaciones de temperatura moderada y no se recomienda para mediciones a temperaturas extremadamente altas o bajas (TC-S.A, s.f.)

2.4.6. Electroválvula de bola

Es un dispositivo diseñado para controlar el paso de un gas o líquido que se desplaza a través de un ducto, se mueve mediante un solenoide, existen electroválvulas de acción directa, indirecta y mixta. Este tipo de válvulas eléctricas se componen de bobinas que generan un campo magnético que permite el movimiento del embolo o pistón permitiendo o no el paso del fluido, un embolo o pistón que es el encargado del paso del fluido y otros componentes como los orificios de entrada y salida del fluido y un asiento de válvula con empaque que garantizan la retención completa del gas o líquido cuando la válvula se encuentra cerrada (Barandiarán, 2021).

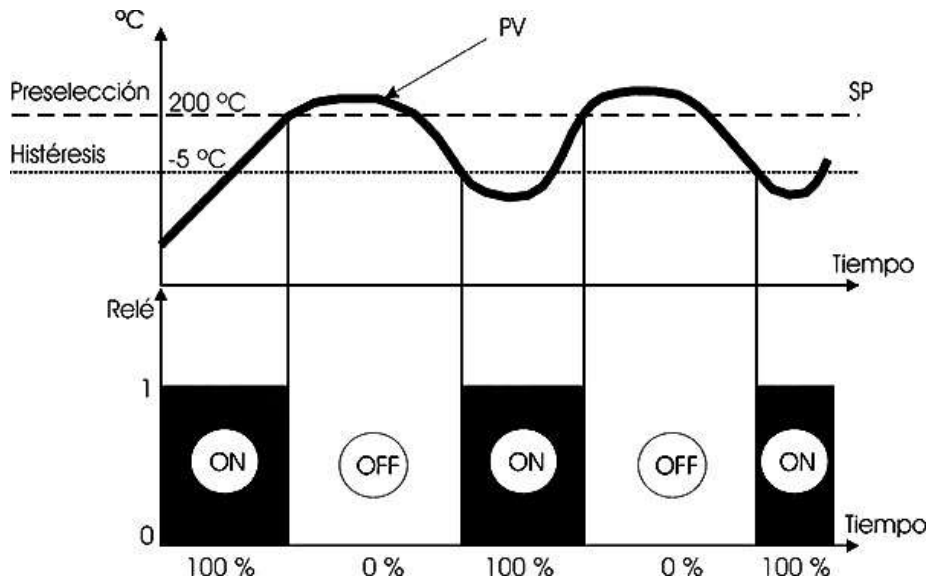
Una válvula solenoide cumple la misma función que una válvula de cierre, pero en vez de manipularse manualmente funciona mediante pulsos eléctricos a través de un programador, es un dispositivo electromecánico diseñado para controlar el flujo de un fluido que circula por una tubería, en la mayoría de los casos solo dispone de las posiciones de abierto y cerrado (Arco, 2020).

2.4.7. Sistema de control automático por Histéresis

El tipo de control que rige dentro del PLC es por histéresis que consiste en dar a la variable un umbral de control, así, cuando el error de la variable monitoreada excede el límite superior establecido se activa o se desactiva si dicho error está por debajo del límite inferior o viceversa, la anchura del ciclo de histéresis va a depender en gran medida del nivel de error que puede admitir el proceso que se controla (Rodríguez, 2023). Este tipo de control está funcionando para las 3 electroválvulas con la variable temperatura.

En la figura 5 se describe el tipo de control automático implementado en la tina polivalente.

Figura 5
Sistema de control por Histéresis.



Nota. Adaptado de Altamirano, (2023).

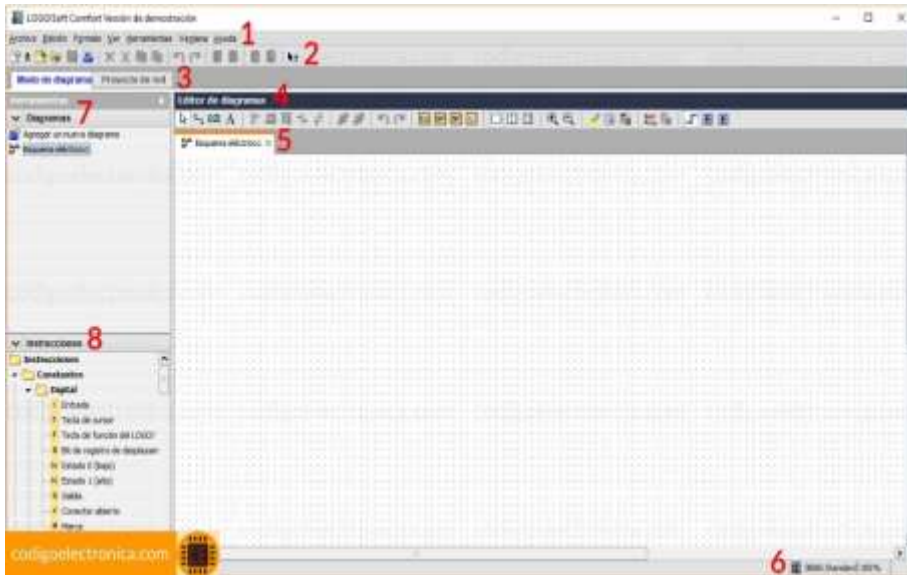
2.4.8. Software: Logo! Soft comfort 8

¡El software LOGO! Soft comfort es una herramienta de ingeniería para la configuración y programación precisa de dispositivos de automatización industrial como el PLC logo V8, además proporciona una interfaz gráfica con bloques de funcionalidades que hacen referencia a sensores y actuadores correspondientes a las diferentes entradas y salidas del PLC.

Según MasterPLC (2023), este software proporciona una configuración sencilla mediante LOGO para proyectos de automatización, tiene acceso a una serie de herramientas y un editor web con servidor integrado que facilita su uso.

Figura 6

Logo soft comfort (software de programación)



Nota. Adaptado de Fernandez, (2017)

1. Menú
2. Barra de herramientas estándar
3. Barra de modo
4. Barra de herramientas
5. Interfaz de programación
6. Barra de estado
7. Árbol de esquema
8. Árbol de operación

Logo web editor

Es un editor web gratuito de logo 8 el cual permite crear páginas web para el monitoreo y control de procesos ya sea de forma gráfica con imágenes animadas o botones existentes y además se puede vincular con la programación en logo soft confort y proyectar su interfaz en computadoras, tablets y celulares de tal manera que se pueda controlar al logo V8 desde estos dispositivos proporcionando soluciones individuales o colectivas a diferentes instalaciones a través de la red. Estos datos son almacenados en una tarjeta SD estándar del LOGO (González J., 2023).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

En el presente proyecto de investigación se realizó un estudio cualitativo, cuantitativo, de campo y experimental. Para el análisis cualitativo se realizó una inspección visual tanto del caldero, las conexiones del flujo de vapor y la marmita considerando las condiciones físicas y funcionales iniciales, cuantitativo en el que se determinó variables numéricas como la temperatura y el tiempo, mismos que fueron analizados a nivel estadístico, por otro lado, se identificó un estudio de campo debido a que toda la investigación se realizó en el centro de capacitación, transferencia tecnológica, producción y servicios (CETTEPS) de la UNACH y una investigación experimental ya que se implementó un sistema de control automático para la temperatura así como también sus respectivas pruebas y experimentos para verificar su funcionamiento.

3.2. Diseño Experimental

En la presente investigación se analizó la eficiencia y precisión de un sistema de pasteurización de leche al implementar un sistema de monitoreo y control de temperatura con el que se controló también el tiempo de retención. Los objetivos principales de la investigación fueron: la determinación de las condiciones de operación del sistema antes de automatizar, la implementación del sistema de control y las respectivas pruebas para verificar el funcionamiento del sistema implementado.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de datos, por un lado, mediante la observación se determinaron las especificaciones técnicas de los equipos y elementos que involucran al sistema, y por otro lado, los datos de temperaturas y tiempo de pasteurización antes de implementar el controlador automático se obtuvieron al realizar pruebas y experimentos con 3 volúmenes diferentes (50, 150 y 250 litros) donde se utilizó la cámara de video del teléfono celular con el fin de grabar un video a la pantalla digital del termómetro durante el tiempo de calentamiento, retención y disminución de temperatura. Así mismo, después de la implementación del controlador automático, los datos fueron registrados a partir de las pruebas de funcionamiento realizadas, cada 4 segundos en una tarjeta de memoria que fue insertada en el PLC, los cuales para poder analizar se tuvo que sacar un promedio para cada minuto, obteniendo así 30 datos de la etapa de retención que fueron reescritos en una hoja de cálculo (Excel).

3.3. Materiales, equipos y materia prima

En la tabla 1 se evidencian los equipos, materiales, reactivos y materia prima utilizados para la ejecución de la investigación con la implementación de un sistema de control automático de temperatura en el CETTEPS de la UNACH.

Tabla 1*Materiales, equipos y MP*

Equipos	Materiales	Materia prima
PLC Logo V8	Bitácoras	Leche
Electroválvulas	Bolígrafos	
Termocupla tipo J	Caja de herramientas	
Router wi-fi	Neplos metálicos ½"	
Termómetro TP101		
Cronómetro		

Nota: PLC (Controlador Lógico Programable); Electroválvula (Válvula con accionamiento eléctrico); Termocupla (Sensor de temperatura); Marmita (Intercambiador de calor convencional).

3.4. Condiciones de pasteurización empleadas

Para esta investigación se aplicó pasteurizaciones LTLT (Low Temperatura long time), 63 °C en 30 minutos ya que la literatura demuestra que son las condiciones más utilizadas dentro de la industria láctea en lo que respecta a la elaboración de quesos en lo cual se estudió el rango de variabilidad de temperatura tanto en las pruebas realizadas con el control manual, así como con las pruebas con control automático.

3.5. Condiciones del proceso de pasteurización antes de automatizar.

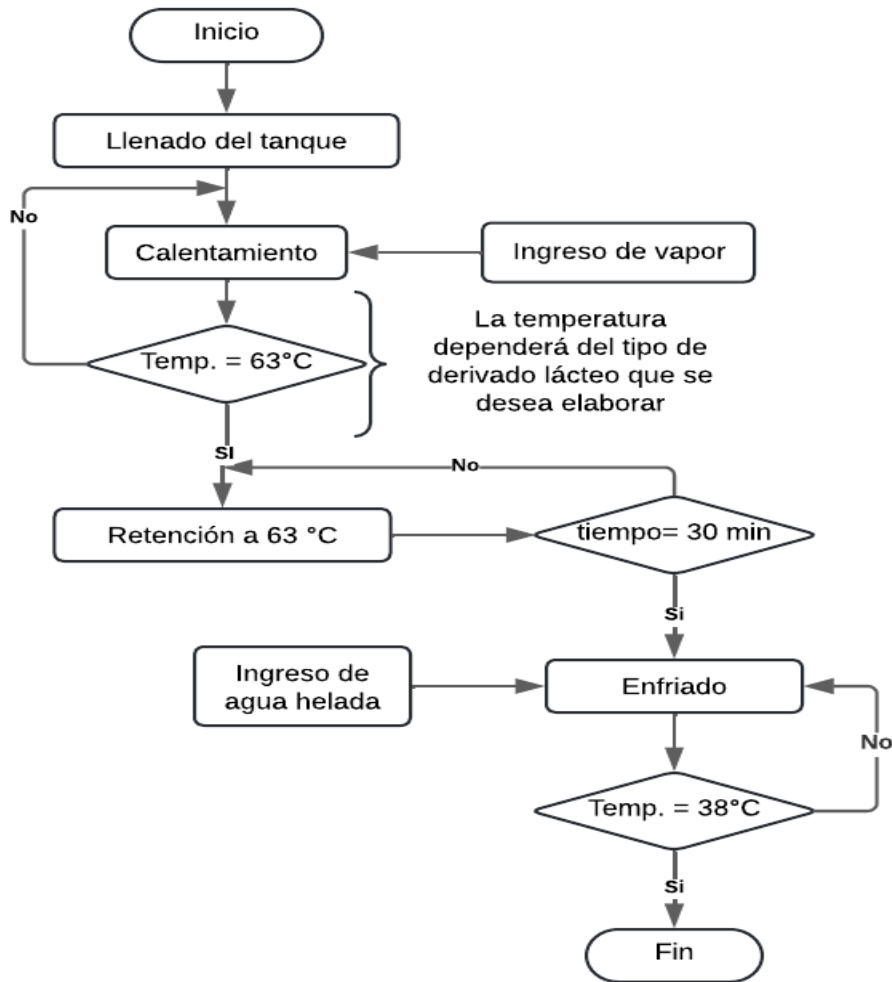
Para identificar al sistema, primero se realizó una inspección visual y registro de las características y especificaciones de los equipos que integran todo el sistema de pasteurización del CETTEPS.

Para el registro de datos de temperatura de las pruebas realizadas antes de la implementación del sistema de control automático se utilizó un volumen de 50, 150 y 250 litros de leche para las repeticiones respectivas los cuales una vez pasados el control rápido de calidad (prueba de acidez, densidad y prueba de alcohol), dos de dichas pruebas verificadas en la INEN 09 y aceptado el lote, se introdujeron a la tina polivalente y en el instante que se permitió el paso del flujo de vapor, con la ayuda del termómetro digital TP101 (Fig. 28) se procedió a registrar los datos de temperatura.

La figura 7 representa al proceso de pasteurización con control manual de temperatura realizado comúnmente en el intercambiador de calor, mediante dicho diagrama de flujo se basó la investigación para el análisis del proceso que se estaba manejando en la planta. Este diagrama representa el único tratamiento térmico que se le realiza a la leche previo a la elaboración de queso tipo fresco, sin embargo, dependiendo del tipo de queso a elaborar se modifica las condiciones de pasteurización, puede ser aumentando la temperatura y disminuyendo el tiempo o añadiendo una etapa más al proceso.

Figura 7

Proceso de pasteurización con operación manual



3.6. Metodología para la implementación del sistema de control automático

El sistema de control automático consistió en la implementación de tres elementos generales, por un lado, la adecuación de un sensor de temperatura que sirve como captador de señales del medio, un PLC que trae integrado diferentes módulos y un software donde se procesan los datos obtenidos del captador además de un router para transmitir señal y 3 electroválvulas que funcionan como actuadores cerrando o abriendo el caudal ya sea de vapor, agua fría o purga.

En las siguientes tablas se detallan los elementos empleados para el montaje de todo el sistema de control.

3.6.1. Termocupla tipo J

Tabla 2

Especificaciones técnicas del sensor de temperatura

Especificaciones técnicas de la termocupla tipo J	
Material	Hierro + aleación de cobre - níquel
Rango de T°	0 – 300 °C
Distancia del sensor	13 cm
Diámetro	8 mm

3.6.2. Electroválvula de bola roscada

Tabla 3

Especificaciones técnicas (válvula eléctrica SNTC 91172)

Especificaciones técnicas de la válvula eléctrica STNC 91172	
Modelo	91172
Voltaje	AC110V
Estado inicial	NC
Conexión	½” NTP
T° de operación	-5 a + 180°C
Presión de trabajo	7 – 217 Psi
Modo de operación	Horizontal

3.6.3. Electroválvula con accionamiento neumático

Tabla 4

Especificaciones técnicas de la válvula eléctrica 2

Especificaciones técnicas de la válvula PGK50-P	
Material	Acero inoxidable SS304
Sellado	PTFE
Conexión	Hilo interno de 2 pulgadas
Presión de trabajo	0 – 16 bar
Temperatura media	-10 a + 180 grados Celsius
Control	Neumático
Temperatura ambiente	-10 a + 60 grados Celsius

3.6.4. PLC

Tabla 5

Especificaciones técnicas del PLC ¡LOGO! V8

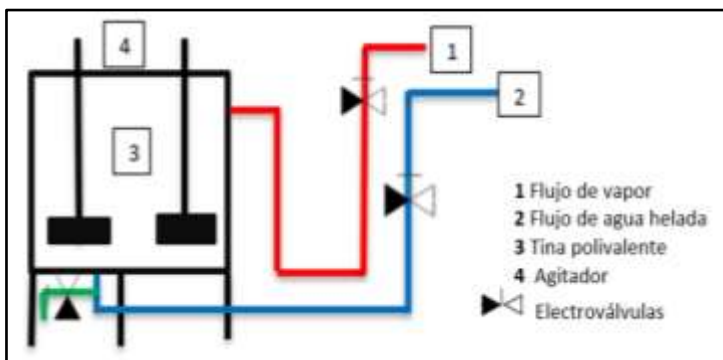
Especificaciones técnicas del Controlador Lógico Programable (PLC)	
Modelo	¡LOGO! V8 siemens
Fuente de alimentación	24VDC
Comunicación	¡LOGO! CMR
Modelo de CPU	1214 AC/DC/RLY
Lenguaje de programación	Ladder Logic
Software	¡LOGO! Soft comfort

3.7. Implementación del sistema de control automático

Para implementar el sistema de control automático a través de PLC, se procedió al montaje de las electroválvulas en los diferentes ductos para calentar, enfriar o purgar respectivamente en el sistema como se muestra en la figura 8, las electroválvulas para vapor y agua helada fueron instaladas a 2 metros aproximadamente de la entrada a la marmita por facilidad y comodidad de su instalación y además por la facilidad para las conexiones con el tablero y la válvula de $\frac{3}{4}$ en la parte inferior del equipo.

Figura 8

Distribución de válvulas.



Las válvulas fueron adecuadas de tal forma que, si una de ellas se daña o todo el sistema de control deja de funcionar ya sea por cortes de energía o fallas en sus elementos, se pueda seguir operando de forma manual. Se realizó pruebas de funcionamiento para comprobar que no existan fugas de agua ni vapor en las válvulas instaladas, sin embargo, una de las válvulas solenoide SNTC 91172, la que se conectaban en el flujo de vapor, no empezó a responder correctamente, por lo cual después de varias pruebas se determinó que no funcionaría bien, el vapor sobrecalentado hacía que su empaque interior se atascara haciendo que el accionamiento eléctrico no responda a las señales del PLC además se determinó que para un correcto funcionamiento de ese tipo de válvulas debe operarse de forma horizontal, por tal motivo se vio

en la necesidad de reemplazar por otra válvula más sofisticada, la válvula PGK50-P, que a diferencia de las otras dos, trabaja con accionamientos neumáticos por lo que se realizó la conexión al flujo de aire comprimido.

3.8. Programación del sistema de control

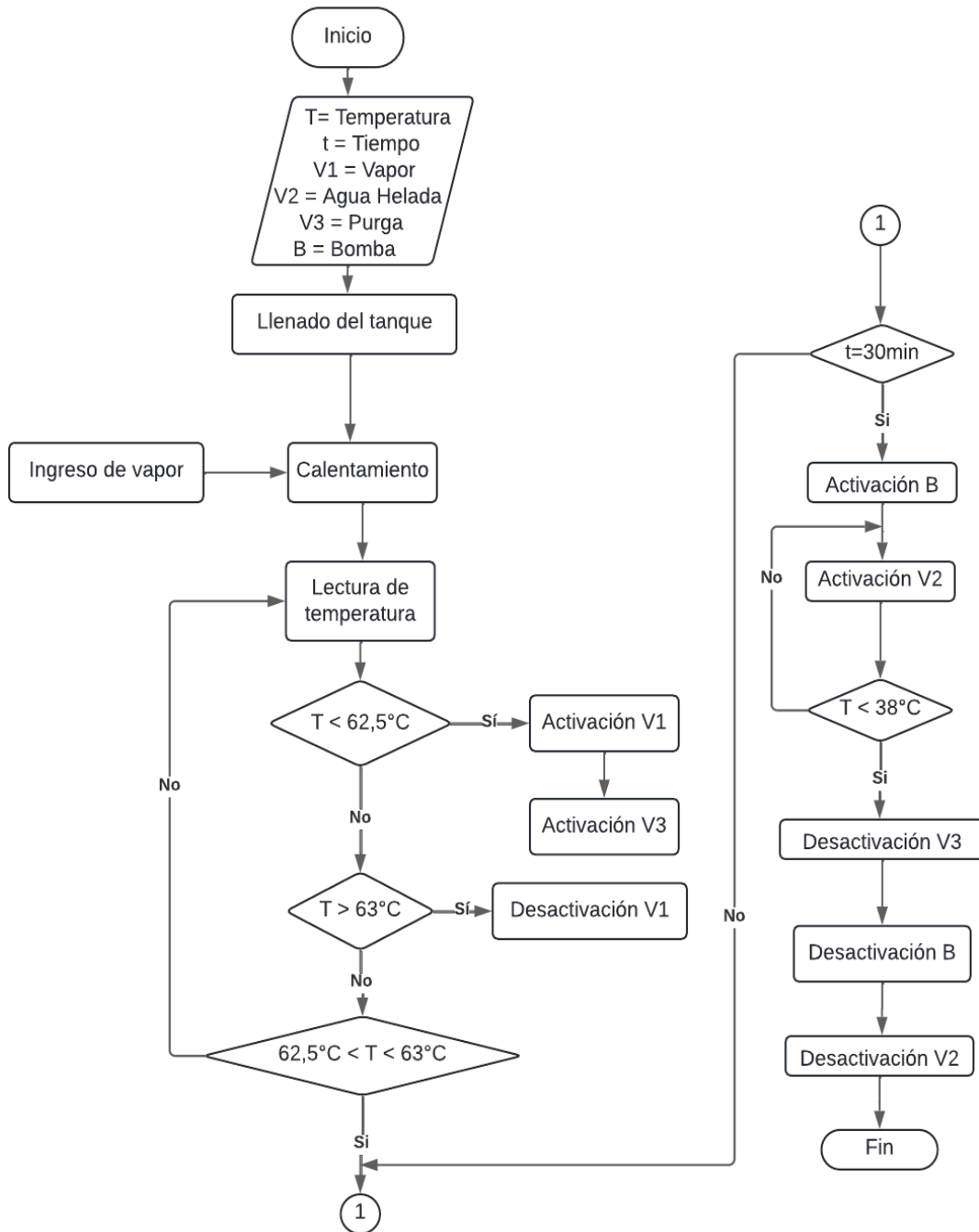
La programación para el funcionamiento del sistema de control se realizó en el software de programación LOGO Soft comfort y esto se basa en las condiciones de operación del producto que se vaya a elaborar, hay que considerar que para cada producto es un protocolo diferente, entonces se ha programado de la manera que mediante el aplicativo LOGO WEB EDITOR ya sea desde un celular o un computador al conectarse a la red, se pueda seleccionar la temperatura, el tiempo al cual pasteurizar y la temperatura de enfriamiento, basta con presionar inicio para que el proceso empiece habilitando la válvula de vapor, se dará purgas continuas del condensado de dentro del intercambiador de calor con el fin de que ingrese más vapor y la transferencia de calor sea más eficaz, una vez la temperatura llegue a los 63 °C o la temperatura que en ese momento se elija, la válvula de vapor se inhabilitará, el controlador fue programado con un rango de variación de 0.5 °C de la temperatura que se elija, por ejemplo si se pasa de 63 °C, la válvula se apaga, y si la temperatura de la leche disminuye hasta los 62.5 °C, el PLC enviará una señal a la electroválvula que debe ingresar más vapor, y así se mantendrá por el tiempo que se elija, este tipo de control se le conoce como histéresis. Posterior a eso cuando haya transcurrido el tiempo necesario, la válvula de vapor se cerrará por completo y la válvula de agua helada entrará en funcionamiento, al igual que la válvula de la purga, con eso se logrará bajar la temperatura hasta 37 +/-2 °C aproximadamente, donde tendrá que pasar otro lapso a una temperatura estable.

3.9. Condiciones del proceso de pasteurización con control automático

Una vez implementado los elementos para el monitoreo y control automático de temperatura se procedió a pasteurizar leche utilizando 50, 150 y 250 litros, los datos de temperatura durante la etapa de calentamiento, retención y enfriamiento fueron grabados en una tarjeta SD insertable en el módulo del PLC cada 4 segundos, los cuales posteriormente fueron promediados entre sí para obtener un total de 30 datos que corresponde a cada minuto durante la etapa de retención de temperatura.

En el diagrama de la figura 9 se muestra el proceso que siguió el controlador automático, incluye la operación de todo el sistema, bajo este esquema se analizó la funcionalidad del sistema de monitoreo y control automático.

Figura 9
Proceso de pasteurización con operación automática



3.10. Método de análisis

Para la presente investigación se realizó un análisis estadístico de datos empleando diferentes herramientas y paquetes estadísticos como Excel y R-studio los cuales sirvieron para demostrar diferencia significativa entre los dos tipos de control.

3.11. Técnica de análisis

3.11.1. Prueba T de Student

Para esta investigación se realizó una prueba T de student la cual es una herramienta útil comúnmente utilizada para comparar las medias de dos grupos de datos. En este caso se utilizó dicha prueba en el paquete estadístico R-studio para determinar si había diferencias significativas entre la media de los dos grupos de datos bajo estudio que son un proceso de pasteurización con control manual vs un proceso con control automático, los cuales fueron denominados de la siguiente manera: caso **a** (comparación 250 automático – 250 manual); caso **b** (150 automático – 150 manual) y caso **c** (50 automático – 50 manual).

3.11.2. Gráficas de control

Se utilizaron las gráficas de control en las pruebas realizadas antes y después de implementar el sistema de control automático para monitorear el desempeño del proceso de pasteurización, sobre todo durante la etapa de retención de la leche a cierta temperatura a lo largo del tiempo y determinar si dicha variación de temperatura se encuentra dentro de los límites esperados o de no ser el caso, poder determinar el tiempo en el que el sistema se encuentra en condiciones fuera de límite. Por otra parte, se determinó la desviación estándar de cada prueba realizada para posteriormente hallar una desviación estándar promedio entre las pruebas con control manual y las pruebas de control automático

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el proyecto de investigación titulado “Implementación de una metodología para el control de temperatura en el pasteurizador de la planta de lácteos de la UNACH”, se obtuvieron los siguientes resultados de acuerdo con los objetivos planteados:

4.1. Información preliminar del sistema de pasteurización en el CETTEPS - UNACH.

En el CETTEPS de la UNACH, más conocido como planta de lácteos se maneja un proceso para pasteurizar leche el cual se desarrolla en tres etapas claves, el calentamiento, retención por un lapso de tiempo a cierta temperatura y el enfriamiento, sin embargo, al ser un proceso en BATCH se desarrolla una cuarta etapa, ajena a la pasteurización, que es el tiempo de coagulación o formación de la cuajada en el mismo equipo, la cual también requiere un control minucioso de temperatura por lo general a 38 °C por media hora.

Se determinó que el proceso para pasteurizar leche en el CETTEPS de la UNACH, se desarrolla en un intercambiador de calor convencional de doble fondo de acero inoxidable, grado alimenticio AISI 304, de capacidad máxima de 300 litros, tiene con un grosor de 4 cm, diámetro de 1 m y profundidad de 70 cm., este equipo cuenta con una válvula de salida para el vaciado del producto de aproximadamente 15 cm de diámetro, cuenta además con un agitador de dos aspas giradas por un motor de 2 HP.

Por otra parte, el equipo se encuentra conectado a un caldero automático de 10 BHP con tapa húmeda, para generar vapor que contiene un quemador a Diesel, Mc Donald, presuretrol, manómetro, válvula de seguridad, tanque de condensado, bomba de agua, chimenea, tanque para Diesel, gabinete eléctrico, recubrimiento exterior en acero inoxidable 430 mediante una tubería de ½ pulgada para la conducción de vapor hacia la marmita.

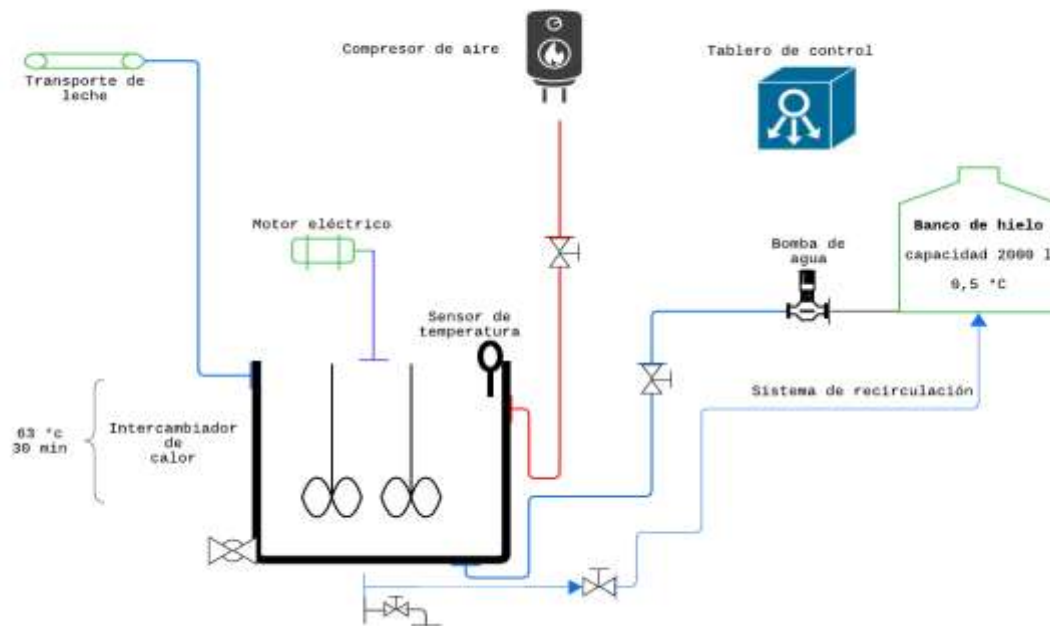
En consecuencia, la etapa de enfriamiento se da por la transferencia de calor entre la materia prima y el líquido de trabajo (agua 0.5 – 7 °C), la cual proviene de un banco de hielo de 2 HP que cuenta con una cisterna de poliuretano, para enfriar 2000 litros de agua (a 0.5 °C), unidad condensadora de 2HP, con sus accesorios de automatización, incluye válvula solenoide, válvula de expansión, filtro, visor de líquido, termostato, tablero de control eléctrico, serpentín en tubería de cobre, estructura en tubo galvanizado, un sistema de recirculación con tubería metálica de ¾ pulgadas de agua caliente hacia el caldero y a un sistema de purga para el vapor condensado. Al equipo de pasteurización se suma un sistema de control el cual consta de botones ON/OFF para encender y variar la frecuencia del homogeneizador y para encender y apagar la bomba de agua que permite la circulación de agua fría por el sistema.

Tomando en cuenta lo descrito anteriormente se puede decir que el equipo de pasteurización del CETEPEPS es apto para pasteurizar leche ya que según la recomendación de Chanco (2022, citado en Tipan & Flores, 2018) un proceso de pasteurización discontinua se lo debe realizar en cantidades pequeñas, como máximo 2000 litros en material de acero inoxidable de acuerdo con las normativas, así mismo, Chacaguasay & Picho (2016) mencionan que una marmita funciona correctamente cuando cuenta con chaqueta, agitador, tubería de descarga,

entrada de vapor, variador de frecuencia del agitador, válvula de seguridad de vapor, termopozo y ser semiesférico el fondo de la marmita, además que las tuberías sanitarias para conducir vapor o gases debe estar cubiertas con lana de vidrio que al tener baja conductividad térmica sirve como aislante y la soldadura del equipo debe ser tipo metal inert gas (MIG), sin embargo, el objeto de estudio de esta investigación utiliza un control de temperatura que se lo hace de forma manual con un termómetro.

Figura 10

Sistema para pasteurizar leche

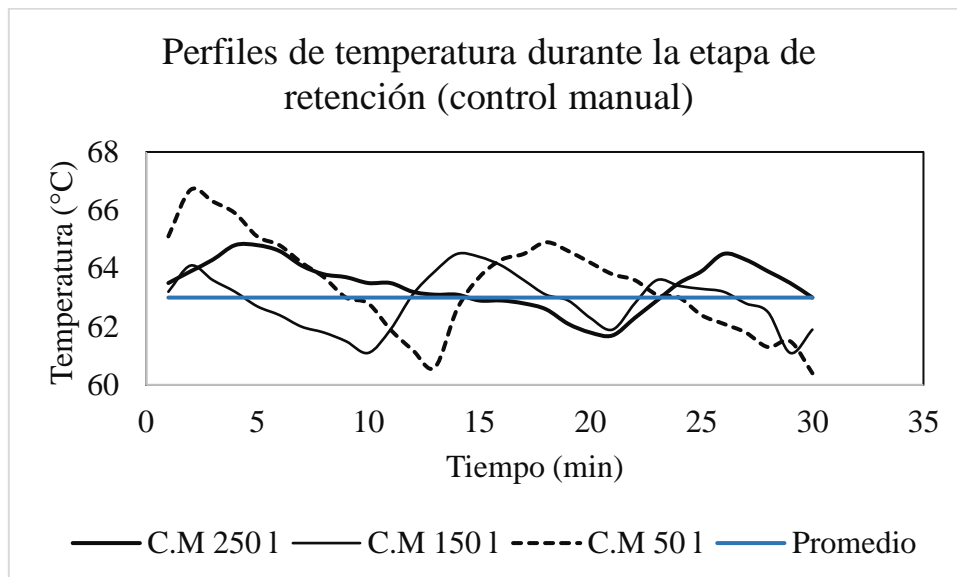


4.1.1. Condiciones de pasteurización con control manual

Antes de implementar el sistema de control automático, se realizaron pruebas de pasteurización para determinar las condiciones en las que se estaba operando y se centró la observación del comportamiento de temperatura durante la etapa de retención principalmente ya que de esta depende la calidad del proceso, en esta etapa se determinó que independientemente del volumen con el que se esté trabajando, la temperatura tiene un rango de variabilidad entre $60.5 - 66.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, es decir alrededor de $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante los 30 minutos que la leche debió mantenerse a $63\text{ }^{\circ}\text{C}$ tal y como se observa en la figura 11.

Figura 11

Perfiles de Temperatura en la etapa de retención con control manual



Nota. El código C.M # 1, hace referencia al tipo de control, volumen y unidad, ejemplo: C.M 250 l = control manual, 250 litros.

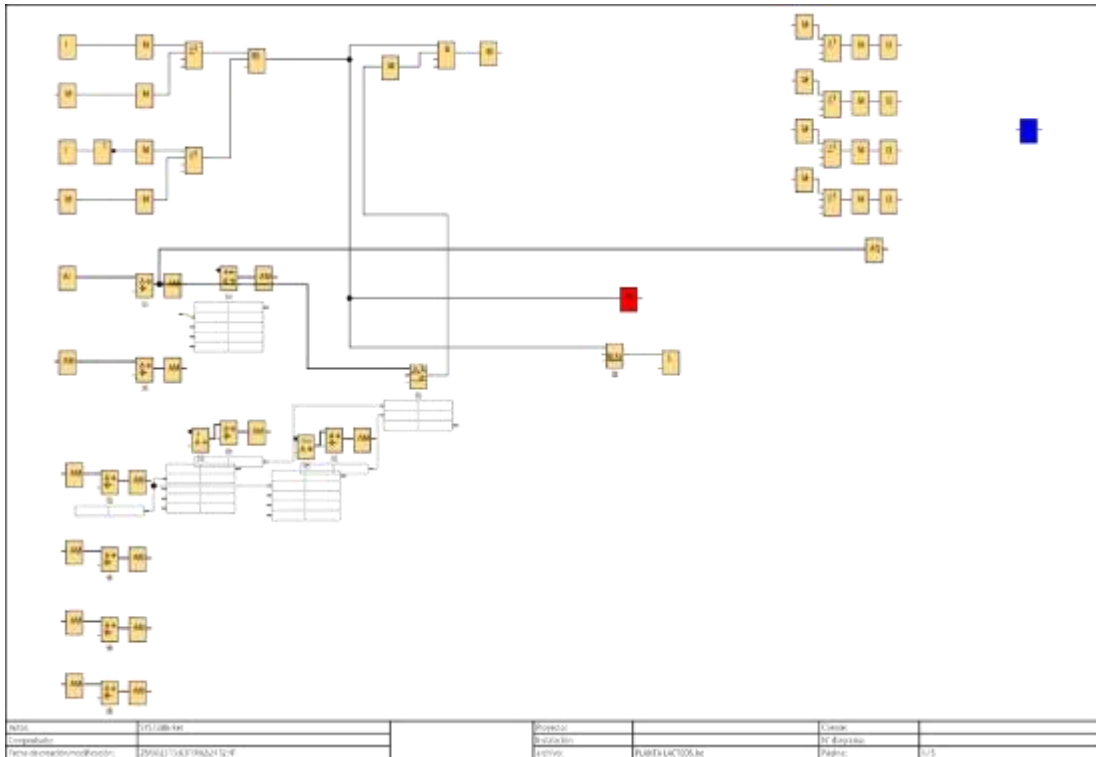
Se ha determinado que durante la etapa de retención cada volumen cuenta con un rango de variación diferente, hay tener en cuenta que en este equipo se maneja un proceso de pasteurización en BATCH, lo que significa que la transferencia de calor al ambiente va a provocar un descenso en la temperatura requiriendo así un aumento mínimo en la fuente de calor para lograr mantenerse a dicha temperatura, para estos requerimientos se necesita accionar la válvula del flujo de vapor y eso incluye que el operario tenga que retirar el termómetro, caminar 1.5 m aproximadamente hasta la válvula y accionarla, esto provoca que el termómetro se desestabilice térmicamente, repetir esta acción por unas 3 o 4 veces tiene su desventaja por los tiempos de retardo en el equilibrio térmico del termómetro con la leche y por consiguiente se sobrepasa los límites de temperatura que se debe mantener 63 ± 0.5 °C porque según la literatura con esta temperatura se logra una pasteurización óptima que garantiza la calidad del producto final, considerando los 30 minutos completos de la etapa de retención se ha determinado que alrededor de 15 y 20 minutos es el tiempo en el que la leche se encuentra a temperaturas no óptimas para la destrucción microbiana.

4.2. Implementación del sistema de control automático de temperatura mediante PLC

Tras un análisis profundo se logró incorporar exitosamente un sistema de control automático mediante PLC al equipo de pasteurización de leche en la planta de lácteos de la UNACH. La figura 12 muestra el esquema de programación, realizado en el software LOGO SOFT COMFORT en el que se utiliza un lenguaje de programación mediante gráficos de función que están conectados entre sí los cuales definen la lógica de control del sistema.

Figura 12

Esquema de programación en logo soft comfort.



El sistema de control consta de un tablero metálico que abarca un PLC el cual cuenta con módulos para entrada y salida de señales, una ranura para tarjeta SD, un botón de INICIO y PARO, una bocina para dar señales mediante sonido, dos botones lámparas que permite conocer cuál de las válvulas esta accionada, un botón de emergencia, una mini pantalla que sirve para la lectura de la temperatura en tiempo real, una termocupla sujeta a un mecanismo regulable en la cavidad interior de la tina polivalente y 3 electroválvulas que son las encargadas de habilitar o inhabilitar el flujo de calor, frío o purga, un router como transmisor de señal y un aplicativo móvil, cabe mencionar que para el funcionamiento de la válvula en el flujo de vapor, debe haber aire comprimido por ende el compresor de aire debe estar prendido para ejecutar el proceso.

La termocupla fue la encargada de recibir señales, el PLC de procesarlas y las electroválvulas sirvieron como actuadores, todas estas acciones se realizaron dependiendo de los requerimientos del operario para lo cual también se contó con un aplicativo móvil en el cual puede elegir temperatura y tiempo y a su vez monitorizar en tiempo real el desarrollo del proceso. Los límites de temperatura para la programación están basados en la bibliografía investigada.

4.3. Resultados experimentales

4.3.1. Condiciones de pasteurización con control automático

Con el sistema de control automático de temperatura adaptado en el equipo de pasteurización de leche en el CETTEPS de la UNACH, se realizó pruebas de funcionamiento para verificar su efectividad y su correcto desenvolvimiento, al volver a pasteurizar 50, 150 y 250 litros (63 °C), se pudo mantener el control de la temperatura entre 62.5 y 63 °C con una variación máxima de +/- 0.3 °C, la cual fue más efectiva que la alcanzada por Trujillo (2014) quién logró mantener la temperatura del agua a 26 y 27 °C o la de Sullcahuamán (2017) quien pudo controlar la temperatura de pasteurización de leche materna entre 63 °C +/- 0.5 °C y la de González & Armas (2015), quienes controlaron la temperatura en 85 y 5 °C +/- 2 °C, todas estas controladas mediante PLC.

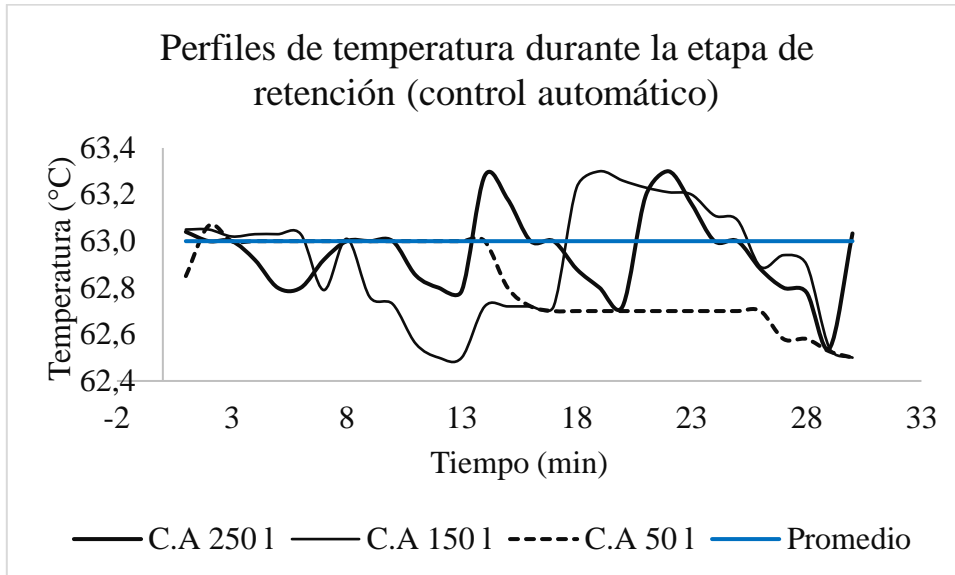
Del mismo modo, se logró controlar con el mismo rango de temperatura (62.5 – 63 +/- 0.4 °C) los 250 litros en 38 °C, temperatura en la cual se da la etapa de coagulación de la leche para obtener la cuajada del queso, esto indica que el proceso está controlado.

Durante la etapa de retención en la pasteurización de la leche, la electroválvula de vapor se activó por lapsos de tiempo entre 16 y 24 segundos, tiempo suficiente para alcanzar la temperatura límite, mientras que los tiempos de activación de la válvula antes de automatizar fueron 3 y 5 minutos aproximadamente manteniendo un 25 % abierta, cabe mencionar que en control automático se alcanza temperaturas por encima de los 63 °C a pesar que este valor está determinado como el límite superior en la programación, esto se debe a fluctuaciones de temperatura en el equipo.

Con el monitoreo constante y el control de temperatura y tiempo durante todo el proceso de pasteurización se logró optimizar recursos debido a que tranquilamente se pudo reemplazar dicha actividad manual por lo automático, así mismo, al tener controlado estrictamente bajo un rango de temperatura a la leche durante dicha etapa, se está garantizando una posible destrucción de patógenos salvando a gran parte de nutrientes de una desnaturalización y así como también evitando una posible contaminación por manipulación directa del alimento, sin embargo esto debe ser comprobado mediante análisis de calidad.

Figura 13

Perfiles de Temperatura en la etapa de retención con control automático



Nota. El código C.A # 1, hace referencia al tipo de control, volumen y unidad, ejemplo: C.A 250 l = control automático, 250 litros.

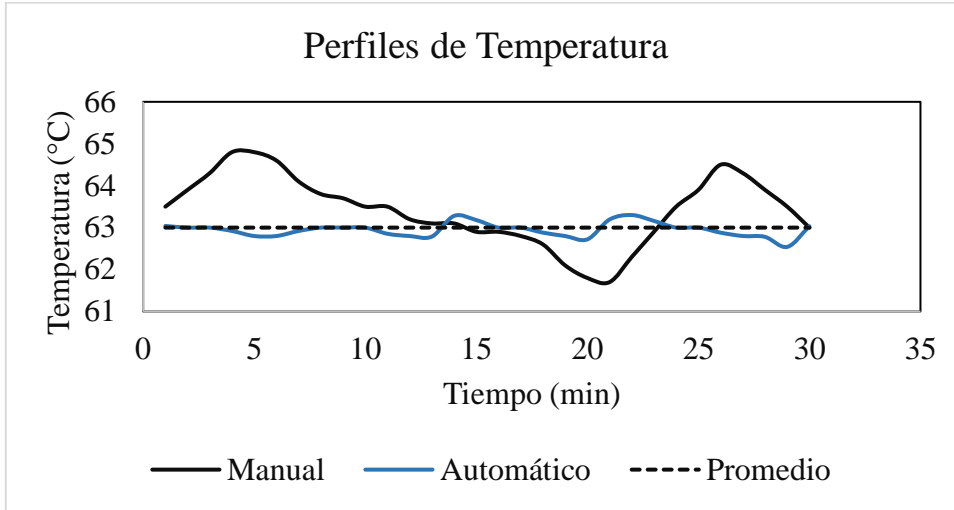
4.3.2. Análisis de datos

Para comprobar la eficiencia del sistema de control implementado, se realizó una prueba T-student para cada uno de los 3 casos (a,b,c) con las que se corroboró que existe diferencia significativa entre las dos formas de controlar la temperatura (manual y automático) en el pasteurizador de leche, dado que, para el caso **a** se obtuvo un p valor=0.005142, para el caso **b** un p valor= 0.001269 y para el caso **c** un p valor= 0.000407, Esto demuestra con un nivel de confianza del 99 % que existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de la técnica estadística y concluir que los tipos de control empleados durante la pasteurización de la leche difieren entre sí, ya que el valor p es inferior al nivel de significancia de 0.01.

En la figura 14 se aprecia la comparación entre los procesos de pasteurización del caso (a), también se puede notar diferencias entre los tipos de control puesto que el perfil de temperatura del control manual abarca un rango de variabilidad más amplio en comparación con el perfil del control automático que fue de 0.8 °C, demostrando así que la temperatura varía significativamente al usar un control manual.

Figura 14

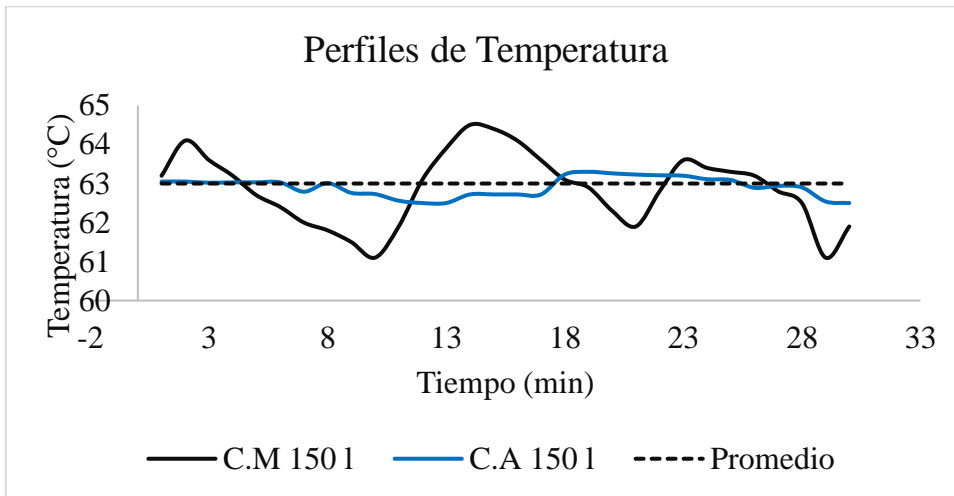
Control manual vs. control automático, caso a



En la figura 15 se aprecia la comparación del comportamiento de temperatura durante la etapa de retención del proceso de pasteurización tanto con control manual como con automático en un volumen de 150 litros para cada tratamiento.

Figura 15

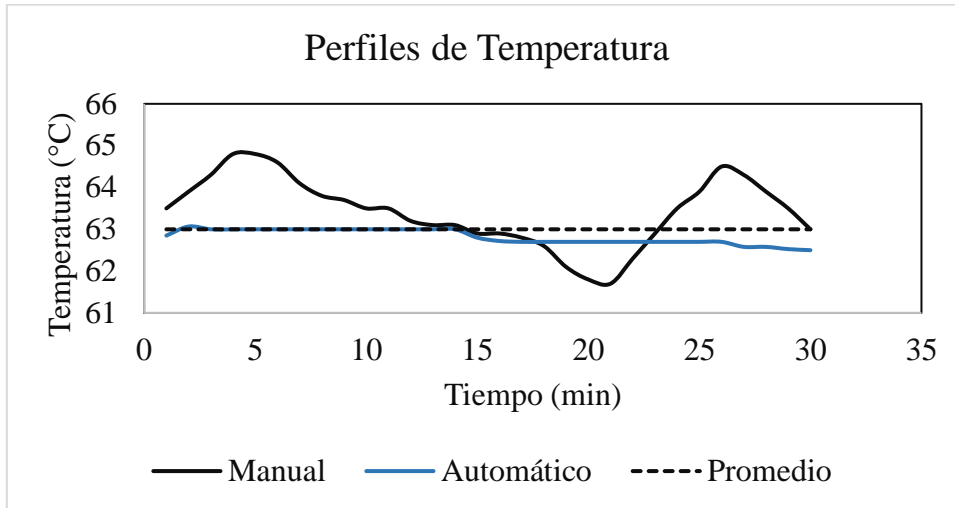
Control manual vs. control automático, caso b



La figura 16 compara al perfil de temperatura del proceso de pasteurización con control manual y automático para el volumen de 50 litros, para este caso el control automático también se logró mantener en un rango de varianza entre 62.5 y 63 °C +/-0.3, similar a las pruebas anteriores.

Figura 16

Control manual vs. control automático, caso c

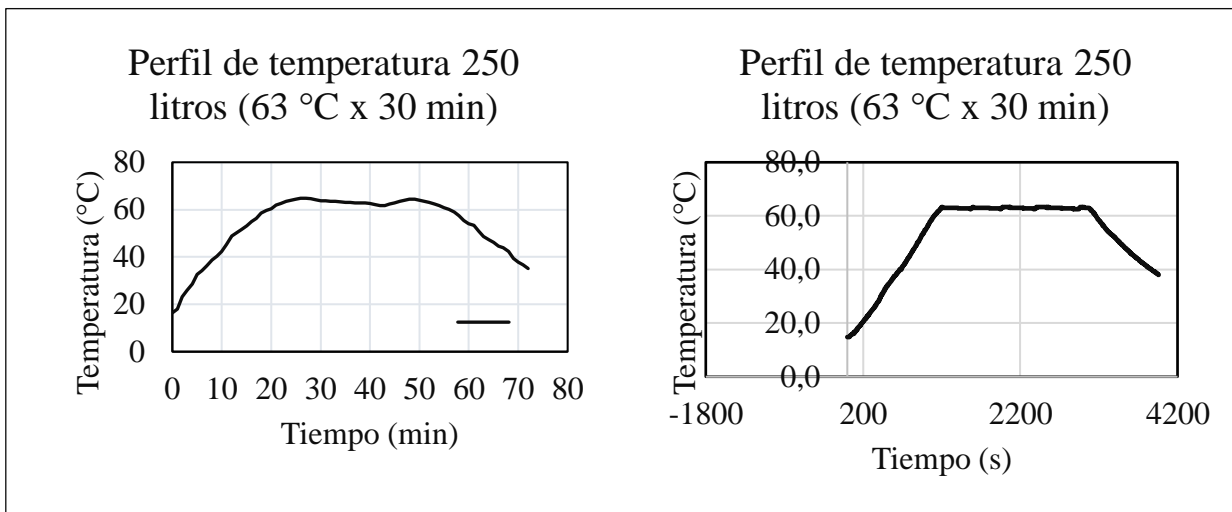


Es importante mencionar que solo se analizó la efectividad del control automático durante la etapa de retención ya que para la etapa de calentamiento y enfriamiento depende en gran medida del volumen con el que se trabaje. Se logró que dicho rango registrado en las pruebas controladas manualmente de $63\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la etapa de retención, se reduzca a 62.5 y $63\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una tolerancia de $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, con la implementación de este control también se ha logrado optimizar el proceso porque al permitir que se purgue el agua condensada hace que el sistema se caliente más rápido.

En la figura 17 se observa la optimización en tiempo de pasteurización de la leche, para 250 litros pasteurizados con control manual tomó alrededor de 73 minutos, mientras que al realizar el mismo proceso térmico pero controlando automáticamente se concluyó en 66 minutos, considerando que la temperatura inicial de la leche fue 15.4 y $14.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

Figura 17

Perfiles de temperatura del proceso completo de pasteurización



Nota: Perfil de temperatura durante el proceso de pasteurización de la leche a 63 °C por 30 minutos de 250 litros, control manual y 250 litros, control automático.

En la gráfica anterior se puede notar que con la implementación del sistema de control automático de temperatura se logró reducir el tiempo en completar el proceso, esto ocurre de forma similar al trabajar con los demás volúmenes.

4.3.3. Gráficas de control

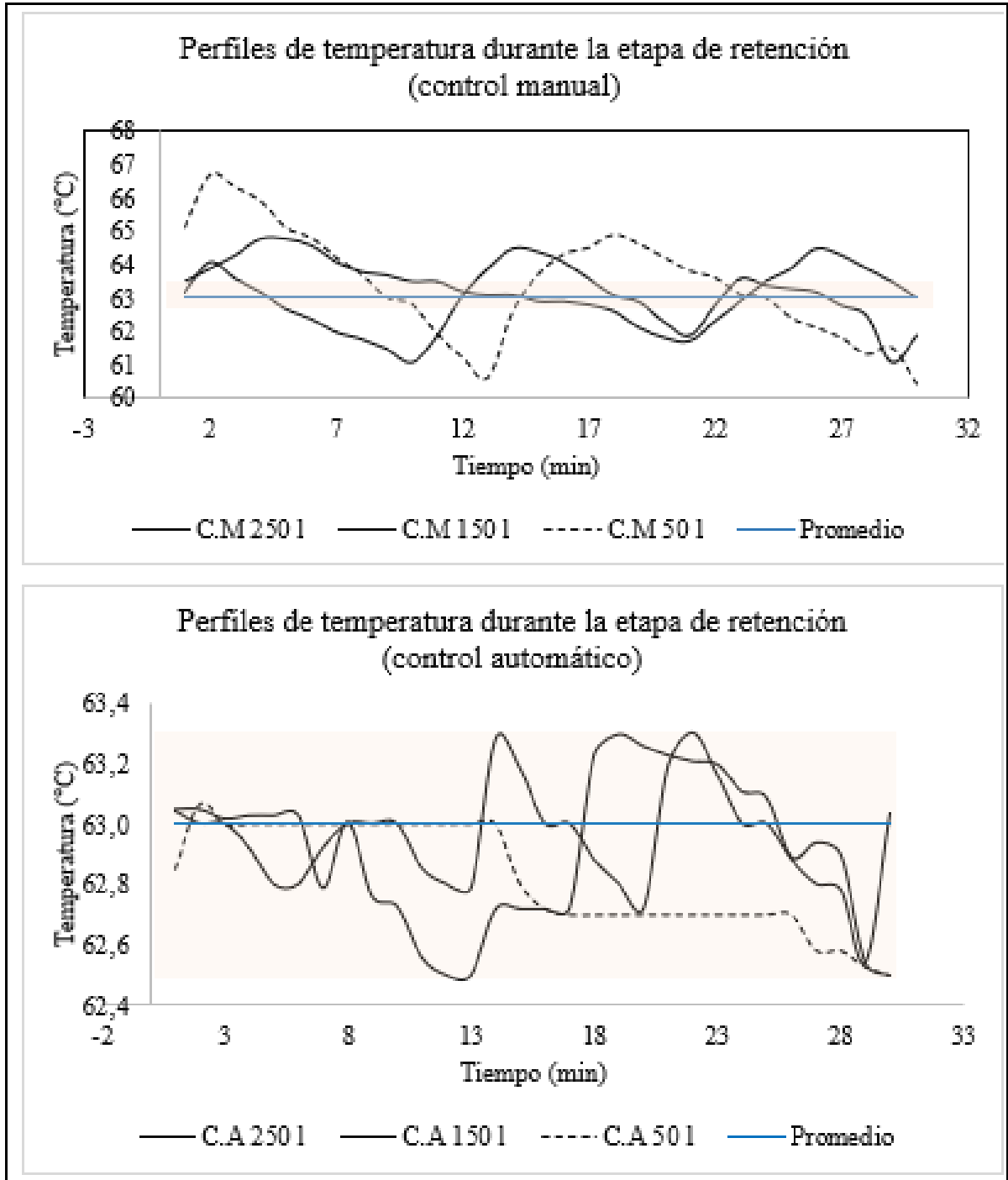
Con las gráficas de control se pudo evidenciar que la dispersión de los datos de temperatura obtenidos en el control manual en comparación con el rango establecido y programado para el control automático, es muy diferente.

En la figura 18 se observa la variación de temperatura de las pasteurizaciones con control automático durante la etapa de retención, considerada la más crítica, la temperatura se mantiene variando dentro de los límites preestablecidos (62.5-63 °C), con un rango de variación máxima de +/- 0.3 °C, esto debido a la explicación en el apartado 4.3.1.

De la misma forma, al analizar la desviación estándar de cada muestra se obtiene para las pruebas de control manual una desviación de 0.83; 0.93; 1.65 respectivamente, mientras que la desviación de las pruebas con control automático fueron de 0.16; 0.40; 0.21 respectivamente siendo así que al calcular un promedio entre las desviaciones de lo manual y automático se obtiene 1.13 y 0.12, respectivamente, de esta manera podemos deducir que los grupos de datos son diferentes en términos de su dispersión o variabilidad.

Figura 18

Gráfica de control para la temperatura en control manual y automático.



CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se ha logrado implementar una metodología de control para la temperatura en el pasteurizador de leche de la planta de lácteos de la UNACH, la metodología de control se basa en un controlador lógico programable (PLC), el cual recibe señales desde la termocupla, lo procesa y envía señales tanto a las electroválvulas y bomba para que se accionen y a su vez permitan o no el paso del flujo de vapor, agua fría, purga o encendido y apagado de la bomba, todo este proceso ocurre automáticamente después de seleccionar temperatura y tiempo en el aplicativo móvil logo web editor y presionar el botón inicio.
- Se ha podido evidenciar que antes de la automatización, cuando el control de temperatura se lo hacía manualmente, no se alcanzaba un calentamiento rápido y uniforme, debido a que se lo debe purgar cada cierto tiempo, así también el rango de variabilidad de la temperatura durante la retención es muy amplio, lo que significa que el proceso no fue estándar abriendo la posibilidad de que no se destruya en gran medida a ciertos patógenos sino que más bien se estuvo poniendo en peligro a la calidad nutricional de la leche.
- Con la implementación del PLC y las diferentes pruebas realizadas, el rango de variabilidad de temperatura en el tiempo de retención fue más corto: $62.5 - 63 \pm 0.3$ °C, garantizando de esa forma una correcta pasteurización, por otro lado, el proceso se da en un tiempo más corto debido a que se mantiene constantemente monitoreado el sistema de purga, así también se ha evidenciado la intervención del personal en mínimas ocasiones, haciendo que el proceso sea menos riesgoso para que ocurra la contaminación cruzada, además se logró optimizar el proceso.

5.2 Recomendaciones

- Una vez terminado el proceso de pasteurización retirar las espas, introducir las liras y dejar que se dé la coagulación y antes que se dé el proceso de cortado, retirar la termocupla, debido a que ocupa su lugar en el interior de la marmita y las liras al momento de cortar, gira ocupando toda el área de la olla
- Una vez retirado la termocupla de la marmita, lavar y desinfectar al instante.
- Antes de empezar con un proceso de pasteurización, comprobar en la pantalla digital del tablero si la temperatura de trabajo es la adecuada.
- Se recomienda instalar otra electroválvula en el sistema de recirculación de agua hacia el banco de hielo y caldero respectivamente para no desperdiciar el agua que sale del enfriamiento y del condensado.

- Se recomienda adaptar una memoria externa para poder extraer los todos los datos del PLC y poder realizar curvas de pasteurizado más exactas precisas, buscando de esa manera mejorar aún más el sistema de control.

BIBLIOGRAFÍA

- [FDA], F. a. (2018). *Los peligros de la leche cruda*. U.S. Food and Drug Administration (FDA).
- Aguilera, A., Urbano, E., & Jaimes, C. (2014). Bacterias patógenas en leche cruda: problema de salud pública e inocuidad alimentaria. *Ciencia y Agricultura*.
- Aldaz, A., & Flor, D. (2016). *DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL INTELIGENTE BASADO EN REDES NEURONALES PARA EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN LA PLANTA DE LÁCTEOS ESPOCH*, [Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional, Riobamba.
- Altamirano, S. (2023). *Normalizacion y Escalado de una señal Analógica*.
- Arco. (2020). *Electroválvulas: Qué es y para qué sirve*. Obtenido de <https://blog.valvulasarco.com/electrovalvulas-que-es-y-para-que-sirve>
- AREATECNOLOGIA. (2024). Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/plc-logo.html>
- Arias, L. (2016). *Efectos de los tratamientos térmicos sobre las propiedades nutricionales de las frutas y las verduras*. Caldas - Antioquia.
- AUTICOM. (2022). Obtenido de <https://www.autycom.com/que-es-logo-siemens-y-como-funciona/>
- Azán, I., & Rodas, C. (2016). *EVALUACIÓN DEL GRADO DE DESNATURALIZACIÓN DE LA PROTEÍNA, CALCIO Y FÓSFORO DE LA LECHE DURANTE EL CALENTAMIENTO UTILIZANDO UN NÚMERO DE COMBINACIONES DE TIEMPO/ TEMPERATURA Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DEL QUESO FRESCO ELABORADO*.
- Baque, E., & Chugchilan, K. (2019). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE QUESOS FRESCOS COMERCIALIZADOS EN UN MERCADO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS Y PRODUCIDOS EN UNA QUESERA ARTESANAL DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO*.
- Barandiarán, R. (2021). *ANÁLISIS DE LAS CAJAS AUTOMÁTICAS POWERSHIFT, MEDIANTE EL USO DE ELECTROVÁLVULAS POR MODULO ELECTRÓNICO, EN UN CARGADOR FRONTAL CAT 950F*. Universidad Señor de Sipán. [Repositorio Institucional], Pimentel - Perú.
- Benitez, I. (2014). Control de la temperatura de un intercambiador de calor en la empresa laboratorios farmacéuticos aica. *I Congreso de Automatización y Mantenimiento Industrial*. La Habana .

- Borja, D., Andrade, M., & Salazar, E. (2022). Modelación matemática para el control de temperatura de salida en tanques de almacenamiento térmico de la Industria láctea. *Conciencia Digital*, 5(2), 251 - 269. doi:<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i2.2235>
- Cabrera, K. (2017). *Diseño e implementación de un sistema SCADA para el proceso de pasteurización de leche*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Calo, J. (2022). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE DIDÁCTICO CON AGITADOR DE DOBLE CAMISA Y SERPENTÍN*.
- Calva, D. (2022). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN CENTRO DE ACOPIO DE LECHE DE GANADO VACUNO EN LA COMUNIDAD LLALLANAG, PARROQUIA TIXÁN*.
- Chacaguasay, E., & Picho, C. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MARMITA CILÍNDRICA CON AGITADOR*.
- Chanco, O. (2022). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MARMITA PARA PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN LA EMPRESA HELADERA CRISSOL UBICADA EN EL CANTÓN SALCEDO-LATACUNGA*.
- control, M. y. (s.f.). *Termocuplas tipo J, una de las más usadas en la industria [Internet]*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2023, de <https://medicionycontrol.com.co/termocuplas-tipo-j/>
- Elizondo, H. (2015). *Sistema de Control Automático de Pasteurización*. Cartago (Costa Rica).
- Emin. (s.f.). *Válvula para vapor 1/2", 3/4" y 1" [Internet]*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2023, de <https://www.emin.com.co/producto/valvula-para-vapor-12-34-y-1/>
- Fernandez, O. (2017). *Código Electrónica*. Obtenido de <http://codigoelectronica.com/blog/ques-un-plc-siemens-logo>
- Flego, D. (2019). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTUFA ROCKET E INTERCAMBIADOR DE CALOR MODULAR PARA CLIMATIZACIÓN AMPLIADA*.
- Gallegos, A., & Ricaurte, D. (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*. [Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo], Riobamba.
- Gavino, E. (2022). *EFFECTO DEL CALENTAMIENTO ÓHMICO SOBRE LAS PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y CALIDAD MICROBIOLÓGICA EN NÉCTAR DE AGUAYMANTO (Physalis peruviana L.)*. Universidad Nacional HERMILO VALDIZÁN.

- González, J. (2023). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE PROCESOS DE ALIMENTACIÓN AVÍCOLA UTILIZANDO UN PLC LOGO 8 EN LA CIUDAD DE ZAMORA EN EL PERIODO ABRIL - SEPTIEMBRE 2023*. INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO SUDAMERICANO. [Repositorio Institucional], Loja.
- González, V., & Armas, L. (2015). *Diseño e implemetación de un sistema automático para el proceso de pasteurización de leche*. Escuela Politécnica Nacional.
- Hurtado, J. (S.f). *Tratamiento de E/S analógicas con S7-300 Y S7-1200*.
- INEC. (2021). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2020*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Presentacion%20ESPAC%202020.pdf
- Lañez, E. (2015). *Microbiología General, Universidad de Granada*. Obtenido de <https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/13agfisicos.htm>
- LARCOTRONIC . (2021). Obtenido de <https://larcotronic.com.ec/automatizacion-en-la-industria-alimentaria/>
- Lewis, M., & Deeth, H. (2018). *Milk Processing and Quality Management*. 350 Main Street, Malden, MA 02148-5020, USA. doi:10.1002/9781444301649
- Llenque, L., Quintana, A., Villanueva, E., Moreno, N., & Segura, R. (2017). *Cinética de inactivación térmica de Salmonella sp. en jugo de fresa, Fragaria sp.*
- Llosa, F. (2017). ESTUDIOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO EN CONSERVAS DE ALIMENTOS DE BAJA ACIDEZ UTILIZANDO MONITOREADORES INALÁMBRICOS DE TEMPERATURA. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. [Repositorio Institucional]. Lima - Perú.
- Machay, B. (2017). *AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE QUEMADOR A GAS MEDIANTE UN PLC LOGO SIEMENS V8, PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA DEL AGUA EN LA EMPRESA EDESA S.A*. INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO VIDA NUEVA. [Repositorio Institucional].
- Martín, E. (2018). *Aplicaciones de los pulsos eléctricos de alto voltaje para el procesado y conservación de alimentos*. [Trabajo de fin de grado en Veterinaria]. Universidad Zaragoza, Zaragoza (España).
- Martinez, A., & Rosenberger, M. (2014). SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN ARTESANAL DE LECHE . *CEDIT-CeDITec*, 3361-3377.
- Martinez, J. (2022). Tendencias y Prioridades IT Ecuador 2022. *IT Ahora*, 74.
- MasterPLC. (2023). *LOGO!Soft Comfort V8.3 Nueva Actualización*. Obtenido de <https://masterplc.com/software/logo-soft-comfort/>

- Molina, D., Cedeño, J., Marcillo, K., Ortiz, M., Mero, E., & Merchan, F. (2019). *MÓDULO CON CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES PARA LA ENSEÑANZA - APRENDIZAJE DE ELECTRONICA*. 3 Ciencias. doi:<http://dx.doi.org/10.17993/IngyTec.2019.50>
- Moreno, E., & Zúñiga, C. (2019). *CORRELACIÓN ENTRE EL NIVEL DE TECNIFICACIÓN Y FORMACIÓN SOBRE LAS PRÁCTICAS SANITARIAS, PRÁCTICAS DE ORDEÑO Y MANIPULACIÓN DE LA LECHE Y CALOSTRO EN GRANJA*.
- Morocho, M., & Sigcha, P. (S.f). *Entradas y Salidas en el PLC S7-1200*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Paucar, A. (2021). *CONTROL DE CALIDAD DE UN CENTRO DE ACOPIO DE LECHE CRUDA CA2. EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO*.
- Perts, G. (2015). *Sistemas de Gestión de Inocuidad Alimentaria según Food Safety System Certification 22000*.
- Picquart, M., & Carrasco, I. (2017). De la temperatura y su medición. *Latin-American Journal of Physics Education*, 17, 117-128. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6019786>
- Ramirez, M., & Lluman, P. (2020). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LA LECHE CRUDA ALMACENADA EN CENTROS DE ACOPIO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO*.
- Rodriguez, E. (2023). *Automatas Programables y Sistemas de Automatización*.
- Rojas, I., Sanchez, H., Gonzales, A., & Rojas, E. (2020). *Implementación de sistema de control automático de temperatura en proceso de parafinado mediante labview*. Lerma, Mexico.
- Roque, J., & Serna, P. (2022). *Sistema de control basado en PLC y HMI para la automatización de una máquina de moldes de plástico en una fábrica de Chiclayo*. UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO. [Repositorio Institucional], LAMBAYEQUE – PERÚ.
- Saltos, J., Márquez, Y., Demera, F., & Alcívar, B. (2019). *DIAGNÓSTICO DE LA INOCUIDAD DEL QUESO FRESCO EN PEQUEÑAS EMPRESAS LOCALES MEDIANTE EL SISTEMA HACCP*.
- Sullcahuamán, O. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de control para pasteurizar leche materna*.
- TC-S.A. (s.f.). *Termopar Tipo J - Información Técnica*. Obtenido de <https://www.tc-sa.es/termopares/tipo-j-termopar.html>

- Tenisi, M. (2022). *Revisión sistemática de los cambios químicos producidos en la composición de la leche humana luego de la pasteurización Holder. Bases para adecuar la fortificación y/o suplementación de nutrientes.*
- Tipan, M., & Flores, D. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo de pasteurizadora para el procesamiento de 50 litros de leche/hora.*
- Tola, D. (2021). DISEÑO DE PIEZAS Y MODELOS EN IMPRESORA 3D CON SOLIDWORK. *ELECTRÓNICA ETN N° 1/2021.*
- Trujillo, F. (2014). *Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura generada por un caldero a diésel en el complejo turístico "EL MOLINO", [Proyecto de grado, ESCUELA POLITECNICA NACIONAL].* Repositorio institucional, Quito.
- Valdivia, J. (2017). *"CAMBIOS FÍSICO QUÍMICOS, SENSORIALES Y NUTRICIONALES, DEBIDO A LA EVAPORACIÓN DE LA LECHE FRESCA ENTERA.* Lima – Perú .
- Vega, M. D. (2019). IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO MEDIANTE EL USO DE PLC PARA LA PRODUCCIÓN DE YOGURT EN LA PLANTA DE LÁCTEOS TUNSHI – ESPOCH, [Trabajo de titulación, Escuel Superior Politécnica de Chimborazo]. *Repositorio institucional.* Riobamba.
- Vinueza, S. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA PREVALENCIA DE TUBERCULOSIS BOVINA EN LA HACIENDA PUCATE DEL CANTÓN CHAMBO PROVINCIA DE CHIMBORAZO.*
- Vizcaíno, R. (2022). *Estudio del proceso de automatización de una línea de producción industrial, [Trabajo de Grado].* Universidad Politécnica de Catalunya.
- Zambrano, D., & Lopez, E. (2018). La Industria de Lácteos de Riobamba – Ecuador: Dinámicas en la Economía Local. *Economía y Negocios*, 9(1). doi:<https://doi.org/10.29019/eyn.v9i1.441>

ANEXOS

Anexo 1: Implementación del sistema de control automático

Figura 19

Sistema de tuberías para la circulación de vapor y agua



Figura 20

Sistema de purga



Figura 21

Implementación de electroválvulas



Figura 22

Electroválvula en el sistema de purga



Figura 23

Electroválvula en el ducto de agua



Figura 24

Tablero de control implementado



Figura 25

Tablero de control



Figura 26

Electroválvula PGK50-P



Figura 29

Termocupla tipo J

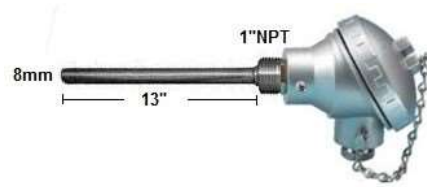


Figura 27

PLC logo V8



Figura 30

Electroválvula STNC 91172



Figura 28

Termómetro TP 100



ANEXO 2: Programación y funcionamiento del sistema de control automático

Figura 31

Logo web editor, Pantalla de programación

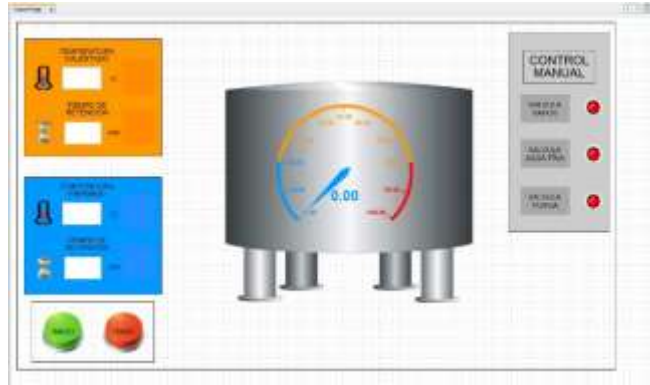


Figura 32

Lectura de Temperatura con el sensor

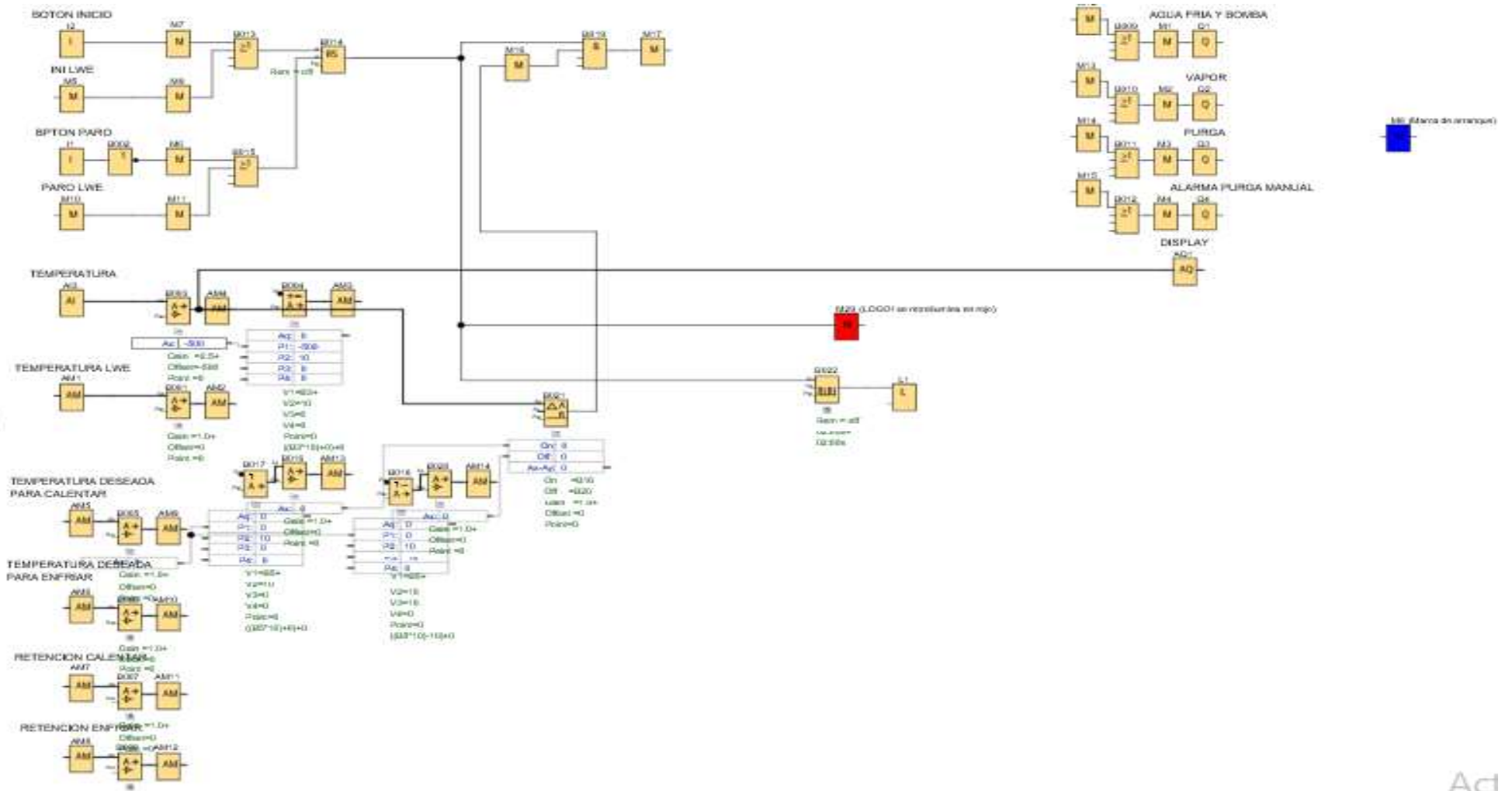


ANEXO 3: Pasos que seguir para controlar la temperatura automáticamente

- Levantar los breakers de seguridad y paso de corriente hacia la planta.
- Accionar el breaker de la tina polivalente para tener corriente eléctrica.
- Accionar el breaker del tablero de control.
- Mantener encendido el Compresor de aire.
- Introducir el mecanismo con la termocupla a la materia prima y regular según su nivel.
- Conectarse a la red con el dispositivo móvil mediante LOGO WEB EDITOR.
- Seleccionar la temperatura y tiempo según su requerimiento.
- Presionar el botón inicio ya sea en el tablero o en el aplicativo móvil.
- En el tablero de la izquierda, prender el agitador.
- En el caso de algún inconveniente, presionar el botón paro y reiniciar la acción nuevamente.

Figura 33

Esquema de Programación



Autor:	SPT/1/M/1/1/1	Proyecto:		Estado:	
Elaborado:		Revisión:		Nº de página:	
Fecha de creación/modificación:	28/07/23 15:02:38 (23/07/23)	Empresa:	PUNTA LIMITECS, S.C.	Página:	1/5

Número de bloque (tipo)	Parámetro
A13(Entrada analógica) : TEMPERATURA	
AM1(Marca analógica) : TEMPERATURA LWE	
AM5(Marca analógica) : TEMPERATURA DESEADA PARA CALENTAR	
AM6(Marca analógica) : TEMPERATURA DESEADA PARA ENFRIAR	
AM7(Marca analógica) : RETENCION CALENTAR	
AM8(Marca analógica) : RETENCION ENFRIAR	
AQ1(Salida analógica) : DISPLAY	
B001(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
B003(Amplificador analógico) :	Gain =2.5- Offset=-500 Point =0
B004(Instrucción aritmética) :	V1=B3+ V2=10 V3=0 V4=0 Point=0 $((B3*10)+0)+0$
B005(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
B006(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
B007(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
B008(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
B014(Relé autoenclavador) :	Rem = off
B016(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
Número de bloque (tipo)	Parámetro

AI3(Entrada analógica) : TEMPERATURA	
AM1(Marca analógica) : TEMPERATURA LWE	
TEMPERATURA DESEADA PARA CALENTAR TEMPERATURA DESEADA PARA CALENTAR	
AM6(Marca analógica) : AM6(Marca analógica) :	
AM7(Marca analógica) : RETENCION CALENTAR	
AM8(Marca analógica) : RETENCION ENFRIAR	
AQ1(Salida analógica) : DISPLAY	
B001(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
B003(Amplificador analógico) :	Gain =2.5- Offset=-500 Point =0
B004(Instrucción aritmética) :	V1=B3+ V2=10 V3=0 V4=0 Point=0 $((B3*10)+0)+0$
B005(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
B006(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
B007(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
B008(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
B014(Relé autoenclavador) :	Rem = off
B016(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0

Número de bloque (tipo)	Parámetro
B017(Instrucción aritmética) :	V1=B5+ V2=10 V3=0 V4=0 Point=0 $((B5*10)+0)+0$
B018(Instrucción aritmética) :	V1=B5+ V2=10 V3=10 V4=0 Point=0 $((B5*10)-10)+0$
B020(Amplificador analógico) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0
B021(Comparador analógico) :	On =B16 Off =B20 Gain =1.0+ Offset =0 Point=0
B022(Generador de impulsos asíncrono) :	Rem = off 02:00s+ 02:00s
I1(Entrada) : BPTON PARO	
I2(Entrada) : BOTON INICIO	
M5(Marca) : INI LWE	
M10(Marca) : PARO LWE	
Q1(Salida) : AGUA FRIA Y BOMBA	
Q2(Salida) : VAPOR	
Q3(Salida) : PURGA	
Q4(Salida) : ALARMA PURGA MANUAL	

Conector	Rotulación
A13	
I1	
I2	
AM1	
AM2	
AM3	
AM4	
AM5	
AM6	
AM7	
AM8	
AM9	
AM10	
AM11	
AM12	
AM13	
AM14	
AQ1	
M1	
M2	
M3	
M4	
M5	
M6	
M7	
M8	Marca de arranque
M9	
M10	
M11	
M12	
M13	
M14	
M15	
M16	
M17	

Conector	Rotulación
M29	LOGO! se retroilumina en rojo
Q1	
Q2	
Q3	
Q4	