



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN
EN LA INDUSTRIA DE LÁCTEOS TIOLAC**

PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO

AUTORES:

Wilson Israel Balladares Gomez
Santiago Wladimir Mejía Guamangallo

TUTOR:

Ing. MSc. Byron Paúl Corrales Bastidas

Latacunga, Febrero 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Balladares Gomez Wilson Israel, con cédula de ciudadanía No. 0504211566, **Mejía Guamangallo Santiago Wladimir**, con cédula de ciudadanía No. 0550260004 declaramos ser autores de la propuesta tecnológica: **“AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LÁCTEOS TIOLAC”**, siendo el **Ing. Corrales Bastidas Byron Paúl MSc.**, tutor del presente trabajo: y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, febrero 21 del 2025

Balladares Gomez Wilson Israel
C.C. 0503871949

Mejía Guamangallo Santiago Wladimir
C.C. 0550260004

AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LÁCTEOS TIOLAC”, de **Balladares Gomez Wilson Israel y Mejía Guamangallo Santiago Wladimir**, de la carrera Ingeniería en Electricidad, considero que dicha propuesta tecnológica es merecedora del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, febrero del 2025

.....

Ing. Corrales Bastidas Byron Paúl MSc.

C.C: 0502347768

TUTOR DE TITULACIÓN

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente de la propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **Balladares Gomez Wilson Israel y Mejía Guamangallo Santiago Wladimir**, con el título de propuesta tecnológica **“AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LA INDUSTRIA LÁCTEA TIOLAC”** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.



.....
Ing. Rueda F. Walter P. MSc.

C.C. 0503689895

LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Latacunga, Febrero del 2025



.....
Ing. León S. Manuel A. MSc.

C.C. 0502041353

LECTOR 2 (MIEMBRO)



.....
Ing. León S. Marco A. MSc.

C.C. 0502305402

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, a Dios, al Niño Manuelito, porque la fe ha sido uno de los pilares fundamentales en mi vida. También quiero expresar mi infinita gratitud a mis padres, quienes siempre fueron mi apoyo en aquellas noches grises, a mis hermanos, que siempre me han regalado sonrisas porque siempre me han regalado sonrisas porque siempre creyeron en mí. También agradezco a mis abuelitos por compartirme sabiduría, a lo largo de mi vida, quienes me cuidaron y apoyaron en este camino. Agradezco a Alisson Tapia C., quien siempre me daba palabras de aliento durante mi vida académica. Agradecer a las personas que me acompañaron en esta hermosa vida universitaria.

Además, agradezco a mis profesores, quienes me guiaron, inspiraron y compartieron sus conocimientos hacia la ingeniería eléctrica. Especialmente al Ing. Paúl Corrales, que con su infinita paciencia nos apoyó en nuestro proyecto. Y para finalizar a los trabajadores de ELEPCO S.A. Sigchos, a Jaime, Marco Polo y Cristian, quienes me supieron compartir su conocimiento en el ámbito laboral.

Wilson Balladares (HUESOS).

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta tesis. En primer lugar, agradezco al Ing. Byron Paul Corrales Bastidas por su guía, paciencia y valiosos conocimientos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Su orientación ha sido clave en cada etapa del proceso. A la Industria de Lácteos TIOLAC, por brindarme la oportunidad de realizar mi tesis en sus instalaciones, permitiéndome aplicar y fortalecer mis conocimientos en un entorno real de trabajo. A la Universidad Técnica de Cotopaxi, en especial a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, por proporcionarme la formación y los recursos necesarios para llevar a cabo mi aprendizaje y educación. A mi familia, por su amor incondicional, apoyo y comprensión, siendo mi mayor fuente de motivación.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de este proyecto.

Santiago Mejía.

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi señora madre Iralda Gomez que, con su fe y apoyo incondicional, me ayudaron a levantarme cada vez que me caí, a mi padre Wilson Balladares (Gordito), quien me enseñó a siempre tener fe, por más oscuros que sean los días, quien me compartió ese bello conocimiento sobre la electricidad. Este logro no es solo mio sino de mi hermosa familia (Balladares Gomez), quien a pesar de todo lo malo, siempre encuentran lo mejor en mi.

También se lo dedico a mi prima Giss Jacome, que con sus palabras, nada es fácil en esta vida me motivaba, a mis primos David Yugcha y Juan Balladares, que nunca me dejaron solo. Por ultimo dedicarle este logro a mis tíos Emma Gomez, Olimpia Gomez y Milton Valladares, que formaron parte de mi vida estudiantil desde mis 13 años hasta la actualidad.

Wilson Balladares (HUESOS)

DEDICATORIA

Este logro es el resultado de años de esfuerzo, sacrificio y dedicación lo dedico a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada momento de este camino. Gracias por darme la sabiduría y fuerza necesarias para alcanzar este importante paso en mi vida. A mis padres, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida. Su amor incondicional, su apoyo constante y sus sacrificios incansables me han dado la posibilidad de llegar hasta aquí. Ellos han sido mi mayor fuente de inspiración, y sin su compromiso y orientación, este logro no habría sido posible. Gracias por enseñarme a nunca rendirme, por mostrarme la importancia del esfuerzo y la responsabilidad, y por siempre estar a mi lado, alentándome a dar lo mejor de mí.

A mis abuelitos, por su ejemplo de vida y por compartir conmigo sus valiosas enseñanzas. A mis hermanos, quienes con su amor y compañía han sido una constante fuente de aliento, y a mis tíos, quienes considero como hermanos mayores. Ellos han sido mi fuente de inspiración, motivándome a seguir adelante en este arduo camino hacia la ingeniería, mostrándome siempre lo que significa ser un verdadero profesional.

Este título es el reflejo del esfuerzo y amor de todos ustedes, y agradezco profundamente a cada uno por haber sido parte de este sueño hecho realidad.

Santiago Mejía.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	11
2. INTRODUCCIÓN	11
2.1. Situación Problemática.....	12
2.2. Formulación del Problema.....	12
2.3. OBJETIVO Y CAMPO DE ACCIÓN	12
2.3.1. Objeto de Investigación:.....	12
2.3.2. Campo de Acción:	12
2.4. BENEFICIARIOS	12
2.4.1. Directo	12
2.4.2. Indirecto.....	13
2.5. JUSTIFICACIÓN.....	13
2.6. OBJETIVOS	13
2.6.1. General.....	13
2.6.2. Específicos.....	13
2.6.3. Sistemas de Tareas.....	13
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	15
3.1. Antecedentes.....	15
3.2. Industria de Lácteos “TIOLAC”	17
3.2.1. Ubicación Geográfica.....	17
3.3. Automatización.....	18
3.3.1. Automatización por medio de procesos.....	18
3.3.2. Proceso Continuo.....	18
3.3.3. Proceso Batch	19
3.4. Pirámide de la automatización.....	19
3.4.1. Equipos de Campo (Nivel 0)	20

3.4.2.	Control de Proceso (Nivel 1).....	20
3.4.3.	Operación y Supervisión HMI (Nivel 2)	21
3.4.4.	Planificación y Operación MES (Nivel 3).....	21
3.4.5.	Manufactura e Información ERP (Nivel 4)	21
3.5.	Arquitectura de un Sistema de Producción.....	22
3.5.1.	Definición de las partes de un sistema de producción industrial.....	22
3.5.2.	Los sistemas SCADA en la automatización industrial.....	23
3.6.	Sistema de Control	23
3.6.1.	Tipos de sistema de control	24
3.6.2.	Controlador Lógico Programable (PLC)	25
3.6.3.	Interfaz hombre máquina (HMI)	26
3.6.4.	Sistemas de Medición.....	27
3.6.5.	Transmisores de señal.....	31
3.7.	Actuadores	33
3.7.1.	Motores CA	33
3.7.2.	Motores trifásicos	33
3.7.3.	Motores monofásicos.....	34
3.7.4.	Motor reductor	34
3.7.5.	Electroválvulas	35
3.8.	Pasteurización.....	36
3.8.1.	Procesos para la pasteurización	36
3.8.2.	Proceso utilizado	38
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	38
4.1.	Métodos	38
4.1.1.	Método bibliográfico	38
4.1.2.	Método de campo	39

4.1.3.	Método experimental.....	39
4.1.4.	Método inductivo.....	39
4.1.5.	Método cuantitativo.....	39
4.2.	Técnicas de investigación.....	39
4.2.1.	Observación.....	39
4.2.2.	Medición.....	39
4.2.3.	Simulación.....	40
4.3.	Instrumentos de medición.....	43
4.3.1.	Cronómetro.....	44
4.3.2.	Pinza amperimétrica.....	44
4.3.3.	Termómetro.....	44
4.4.	Matriz de variables.....	44
4.4.1.	Variables independientes.....	44
4.4.2.	Variables dependientes.....	45
4.5.	Materiales.....	46
4.5.1.	Controlador lógico programable.....	46
4.5.2.	PLC SIEMENS S7-1200.....	47
4.5.3.	Interfaz Hombre Máquina.....	48
4.5.4.	Sensor de temperatura.....	50
4.5.5.	Sensor de nivel.....	52
4.5.6.	Electroválvula para agua.....	54
4.5.7.	Electroválvula de vapor STNC.....	55
4.5.8.	Motor agitador.....	56
4.5.9.	Paletas agitadoras.....	58
4.5.10.	Ensamble del sistema mecánico.....	58
4.6.	Esquema Eléctrico.....	58

4.6.1.	Esquema de Control y Mando	59
4.6.2.	Esquema de fuerza.....	61
4.7.	Diagrama P&ID.....	62
4.8.	Software de programación.....	63
4.8.1.	Software de Kinco	63
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	64
5.1.	Programación HMI con el software Kinco DTools.....	64
5.1.1.	Configuración de la HMI.....	64
5.1.2.	Software TIA PORTAL	67
5.2.	Análisis de resultados	68
5.2.1.	Elección de materiales	68
5.2.2.	Comparación de temperatura entre sensor y termómetro manual	69
5.2.3.	Análisis de Nivel	73
5.2.4.	Análisis de beneficio de la automatización	75
5.2.5.	Análisis de tiempo en el proceso	76
5.3.	Resultados.....	77
5.3.1.	Tiempo de proceso que requiere la pasteurización de leche	77
5.3.2.	Carga del proceso de automatización	87
5.3.3.	Análisis económico	91
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
6.1.	Conclusiones.....	97
6.2.	Recomendaciones	98
7.	REFERENCIAS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1 Ubicación de la Industria Láctea TIOLAC.	17
Figura 3. 2 Instalaciones de la Industria de Lácteos TIOLAC.	18
Figura 3. 3 Niveles de la Pirámide de Automatización	20
Figura 3. 4 Sistema de Producción Industrial [8].	22
Figura 3. 5 Ejemplo de un Sistema SCADA tradicional:	23
Figura 3. 6 Automatización de Procesos Industriales.....	24
Figura 3. 7 Componentes de Control de Lazo Abierto.....	24
Figura 3. 8 Componentes del Sistema de Control de Lazo Cerrado.....	25
Figura 3. 9 Sensor Sin Contacto.	28
Figura 3. 10 Sensor con Radar.	28
Figura 3. 11 Interruptor de nivel de paletas.....	29
Figura 3. 12 Sensor de Capacitancia[15].....	30
Figura 3. 13 Convertidor de señal neumática a digital.	31
Figura 3. 14 Transmisor Eléctrico.	32
Figura 3. 15 Sensor de Telemetría [20].	32
Figura 3. 16 Motor Trifásico - 1800rpm	33
Figura 3. 17 Válvula Solenoide NC [23].....	35
Figura 3. 18 Válvula Solenoide Normalmente Abierta [23].	36
Figura 4. 1 Bypass para uso manual y automático.	40
Figura 4. 2 Adaptaciones en la Marmita.....	42
Figura 4. 3 Diámetro Interno y externo de la marmita.	43
Figura 4. 4 Altura y brazo de la olla.	43
Figura 4. 5 PLC Siemens S7 1200 1212C [27].	48
Figura 4. 6 HMI Kinco Green Series GL070E	49
Figura 4. 7 Sensor de Temperatura TMR 35.....	51
Figura 4. 8 Sensor de Nivel U-GAGE TM S18U.....	54
Figura 4. 9 Modelo CNC 2L123-20.	55
Figura 4. 10 Electroválvula de vapor STNC.	56
Figura 4. 11 Conexión entradas digitales y analógicas.	59
Figura 4. 12 Conexión DE Salidas Digitales.....	60

Figura 4. 13 Diagrama Eléctrico de Fuerza.....	61
Figura 4. 14 Diagrama P & ID completo.....	62
Figura 4. 15 Diagrama P & ID, actuadores y sensores.....	63
Figura 4. 16 Software Kinco Dtools.....	63
Figura 5. 1 IP y Sub Mascara de la HMI.....	64
Figura 5. 2 IP y Puerto del PLC.....	65
Figura 5. 3 Configuración alerta en la pantalla.....	65
Figura 5. 4 Configuración salida de la temperatura en la pantalla.....	65
Figura 5. 5 Mandos desde la Pantalla.....	66
Figura 5. 6 Configuración de la Pantalla.....	66
Figura 5. 7 Simulación Después de Haber Configurado.....	67
Figura 5. 8 Software de Programación.....	67
Figura 5. 9 Programación por bloques TIA Portal.....	68
Figura 5. 10 Temperatura del Termómetro 30 °C.....	69
Figura 5. 11 Temperatura Sensor 30 °C.....	70
Figura 5. 12 Temperatura del Termómetro a 80 °C.....	70
Figura 5. 13 Temperatura del sensor a 80 °C.....	71
Figura 5. 14 Desviación Estándar entre Sensor y Termómetro.....	72
Figura 5. 15 Comparación de Temperaturas.....	73
Figura 5. 16 Guía de Remisión.....	74
Figura 5. 17 Tiempo de Proceso de Pasteurización.....	84
Figura 5. 18 Tiempos de Proceso Manual y Automático.....	85
Figura 5. 19 Proceso de Pasteurización para el Queso Fresco.....	85
Figura 5. 20 Proceso de Pasteurización para el Queso Manaba.....	86
Figura 5. 21 Potencia Consumida Durante Encendido.....	90
Figura 5. 22 Recuperación de la inversión.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Área de Conocimiento.....	11
Tabla 2: Sistema de Tareas del Plan de Titulación.....	14
Tabla 3: Tipo y Parámetros de Pasteurización [26].....	37
Tabla 4: Características del BYPASS.	41
Tabla 5: Variables Independientes.	45
Tabla 6: Variables Dependientes.....	46
Tabla 7: Tipos de Controladores Lógicos Programables.....	46
Tabla 8: Entradas y Salidas Requeridas.	47
Tabla 9: Características generales del PLC Siemens S7-1200 1212C [27].....	48
Tabla 10: Tipos de Pantallas HMI	49
Tabla 11: Sensores.....	50
Tabla 12: Características Técnicas del Sensor TMR 35.....	52
Tabla 13: Tipos de sensores de nivel.....	53
Tabla 14: Descripción del sensor de nivel de leche – LV Max Sonar.....	53
Tabla 15: Tipo y Material de Electroválvulas.	54
Tabla 16: Características técnicas (electroválvula)	55
Tabla 17: Características de la electroválvula de vapor STNC.....	56
Tabla 18: Ficha Técnica Motorreductor.	57
Tabla 19: Ficha Técnica del Motor.....	57
Tabla 20 Nomenclatura Entradas Digitales.....	60
Tabla 21: Nomenclatura salidas digitales.....	61
Tabla 22: Nomenclatura de los actuadores.....	62
Tabla 23: Materiales elegidos.....	69
Tabla 24: Comparación de temperaturas del termómetro , el sensor de temperatura e instrumento de medición.	71
Tabla 25: Desviación Estándar entre TMR35 y Termómetro.	72
Tabla 26: Cantidad de Ingreso de Leche.	75
Tabla 27: Beneficios de la automatización.....	76
Tabla 28: Análisis de Tiempo del proceso de pasteurización.	77
Tabla 29: Tiempo de trabajo manual.....	78

Tabla 30: Procesos y Ciclos.	79
Tabla 31: Promedios y Desviaciones Estándar.....	80
Tabla 32: Tiempo de trabajo automático.....	81
Tabla 33: Procesos Automáticos y Ciclos.	82
Tabla 34: Promedios y Desviaciones Estándar del Proceso Automático.	83
Tabla 35: Análisis de Cargas.....	87
Tabla 36: Características del Conductor Eléctrico [31].....	88
Tabla 37: Tiempo de Uso	89
Tabla 38: Listado de materiales y precios.	92
Tabla 39: Tabla de ahorro acumulado-mes.	94

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

TEMA: AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LÁCTEOS TIOLAC

AUTORES:

Wilson Israel Balladares Gomez
Santiago Wladimir Mejía Guamangallo

TUTOR:

Ing. MSc. Byron Paúl Corrales Bastidas

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla la automatización de un proceso de pasteurización en la industria láctea TIOLAC, con la finalidad de hacer eficiente el proceso operativo y mejorar el control de las variables clave como el tiempo y temperatura. Posterior a el proceso requería mucha intervención manual, lo que genera variaciones y errores humanos, para solucionarlo se implementó el sistema con un PLC, Siemens S7-1200 y una interfaz HMI Kinco, permitiendo un control más preciso del ciclo. El nuevo sistema emplea sensores de temperatura, electroválvulas y actuadores para regular el flujo térmico y bajar los tiempos de producción. Mejorando la duración del proceso de pasteurización pasó de 117,45 a 46,07 minutos, lo que representa una reducción del 60,77%. Como también se optimizó la labor del operario, disminuyendo su intervención y permitiéndole enfocarse en otras tareas dentro de la planta. Con el análisis de cargas también se permitió identificar valores de consumo por ciclo de producción. La automatización del encendido y apagado de los actuadores ha reducido el consumo innecesario de energía. La correcta selección y dimensionamiento de los conductores eléctricos ha sido crucial para evitar caídas de tensión y sobrecalentamiento, garantizando un suministro eléctrico estable y seguro para el funcionamiento del proceso.

Palabras Clave: Automatización, Pasteurización, Control de temperatura, Eficiencia Operativa, Tecnología.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
ELECTRICAL ENGINEERING DEGREE

TOPIC: AUTOMATION OF THE PASTEURISATION PROCESS IN THE TIOLAC DAIRY INDUSTRY

AUTHORS:

Wilson Israel Balladares Gomez
Santiago Wladimir Mejía Guamangallo

TUTOR:

Ing. MSc. Byron Paúl Corrales Bastidas

ABSTRACT

The following research is carried out on the automation of the pasteurization process in the TIOLAC dairy industry, in order to increase the efficiency of the operational process and enhance the control of key variables such as temperature and time. Subsequently, the process required a lot of manual intervention, generating variations and risks of human error. To overcome this, a system based on a Siemens S7-1200 PLC and a Kinco HMI interface was implemented, enabling accurate control of the process. The new system incorporates temperature sensors, solenoid valves and actuators to regulate the thermal flow and reduce production times. Due to this improvement, the duration of the pasteurization process was reduced from 117.45 minutes to 46.07 minutes, which represents a reduction of 60.77%. With the load analysis, it was also possible to identify consumption values per production cycle. Automating the switching on and off of actuators has reduced unnecessary energy consumption. The correct selection and sizing of electrical conductors has been crucial to avoid voltage drops and overheating, guaranteeing a stable and safe electricity supply for the operation of the process.

Key words: Automation, pasteurization, temperature control, operational efficiency, and technology.

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Automatización del proceso de pasteurización en la industria de lácteos TIOLAC.

Modalidad de Titulación: Propuesta Tecnológica.

Carrera: Ingeniería en Electricidad

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación: Balladares Gomez Wilson Israel, Mejía Guamangallo Santiago Wladimir y Corrales Bastidas Byron Paúl.

Área de Conocimiento:

La Tabla 1, presenta el Área de Conocimiento, en el cual se estructura la Propuesta Tecnológica.

Tabla 1: Área de Conocimiento.

07 Ingeniería, Industria y Construcción	071 Ingeniería y Profesiones Afines	0713 Electricidad y Energía
---	-------------------------------------	-----------------------------

Línea de investigación: Tecnología de la información y las comunicaciones, robótica, automatización y optimización de Sistemas.

Sub líneas de investigación de la Carrera: Automatización, control y protección de sistemas eléctricos en el sector productivo y los servicios.

Grupo de investigación: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN

La pasteurización láctea es un proceso fundamental que garantiza la seguridad alimentaria al eliminar los microorganismos patógenos. Por lo tanto, la automatización en electricidad y control automático optimiza el proceso utilizando PLC, proporcionando un control de equipos preciso y el cumplimiento de la temperatura requerida. Los sensores de temperatura permiten un ajuste de tiempo real, mientras que el motor reductor esta excitado, por lo que la temperatura del fluido en la marmita sea homogénea. Los sistemas facilitan el monitoreo y el control remoto, la mejora de la gestión operativa. La automatización reduce el riesgo de errores del trabajador y el cruce de contaminación al determinar todos los procesos para reducir automáticamente los errores de acción y señal activa para mostrar que equipo está funcionando.

2.1. Situación Problemática

La pasteurización manual muestra desafíos importantes que afectan la eficiencia y la calidad del proceso. El proceso manual presenta una dependencia en la toma de la temperatura y la medición de la cantidad de leche crea inseguridad y dudas sobre los errores que se pueden dar en el tiempo de los ciclos prolongados.

Para resolver estos desafíos, se propone un sistema automatizado que mida de manera precisa y constante la temperatura. Tomando en cuenta el nivel de la leche durante la pasteurización. Esto elimina la necesidad de mediciones manuales que son más propensos de errores y permite asegurar que el proceso se realice de forma controlada y confiable, y así también cumpliendo la normativa en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

2.2. Formulación del Problema

Debido a que la pasteurización se realiza manualmente se generan variaciones en el tiempo del proceso y la temperatura de la leche, afectando la estabilidad del sistema.

2.3. OBJETIVO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de Investigación:

Automatizar el proceso de pasteurización en industria lácteos TIOLAC.

2.3.2. Campo de Acción:

3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas

3306.01 Utilización de la Corriente Continua

3306.02 Aplicaciones Eléctricas

3306.03 Motores Eléctricos

El campo de acción toma en cuenta los siguientes códigos, en este caso el código general es el 3306 de la Ingeniería y Tecnologías Eléctricas, como códigos secundarios se tiene El código 3306.01 porque el proceso de automatización requiere controladores de dispositivos que operan en corriente continua, el código 3306.02, involucra aplicaciones eléctricas para controlar el sistema de pasteurización, El código 3306.03, es porque se utilizan motores para accionar bombas y el caldero.

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Directo

El personal de TIOLAC.

2.4.2. Indirecto

Los distribuidores y consumidores.

2.5. JUSTIFICACIÓN

La automatización en TIOLAC es impulsada por la necesidad de modernizar y optimizar un sector esencial para la salud pública y la economía local, el interés personal en la tecnología y la Ingeniería en Electricidad motiva a contribuir a mejoras significativas hacia la sociedad. Desde una visión académica esta investigación complementa la formación teórica y metodológica aplicando conceptos de la automatización y control en un contexto práctico. La automatización promoverá una mayor eficiencia operativa y un entorno de trabajo más seguro para los operadores. Esto garantiza productos lácteos más seguros fomentando la confianza del consumidor y contribuyendo al bienestar comunitario. Como también la automatización no solo representa un avance tecnológico sino también un compromiso con el desarrollo sostenible y la salud pública.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. General

Optimizar el proceso de pasteurización mediante un sistema de automatización para reducir los tiempos dentro del ciclo y garantizar una recepción de datos precisos.

2.6.2. Específicos

- Investigar varias fuentes de bibliografía los métodos de pasteurización y su automatización.
- Implementar la automatización, que controle la temperatura y se evidencie el volumen del producto durante la pasteurización.
- Evaluar la situación económica y efectividad del sistema automatizado en la reducción de tiempos de ciclo antes y después de la automatización.

2.6.3. Sistemas de Tareas

La Tabla 2, muestra las tareas, resultados y como también las técnicas, medios e instrumentos que fueron utilizados.

Tabla 2: Sistema de Tareas del Plan de Titulación.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar en varias fuentes bibliográficas los procesos de pasterización de leche y su automatización.	Buscar información en bases de datos científicas y académicas	Obtención de referencias actualizadas sobre tecnologías de pasteurización y su automatización.	Investigación documental y revisión bibliográfica. Acceso a bases de datos científicas y académicas. Análisis de papers, libros y normativas.
	Revisar libros y normativas, sobre procesamiento lácteo en tecnología de alimentos y procesamiento de productos lácteos.	Identificación de estándares y normativas aplicables para el diseño del sistema de pasteurización.	Libros de tecnología de alimentos y normativas de la industria láctea. Manuales de buenas prácticas de manufactura (BPM) en industrias lácteas.
Implementar un sistema automatizado, que controle la temperatura y se evidencie el volumen de la leche durante el proceso de pasteurización.	Crear un esquema detallado que incluya la disposición de componentes, sensores y actuadores necesarios para controlar la temperatura y el nivel de leche.	Diagrama de bloques y esquemas eléctricos con los componentes del sistema.	Software de diseño eléctrico AutoCAD. Fichas técnicas de sensores y actuadores.
	Desarrollar la programación del PLC que gestiona el proceso de pasteurización el	Código funcional en el PLC que permita controlar la pasteurización.	Software de programación TIA Portal para Siemens S7-1200.

	control de la temperatura y el nivel de leche.		Manuales de programación Ladder (LAD) y diagramas de bloques.
	Realizar pruebas iniciales del sistema automatizado y ajustar los parámetros del control según los requerimientos del proceso.	Sistema en funcionamiento con ajustes optimizados para mejorar la eficiencia.	Simulación antes de la implementación en la industria. Multímetro, termopares, sensores de nivel.
Evaluar la situación económica y efectividad del sistema automatizado en la reducción de tiempos de ciclo antes y después de la automatización.	Documentar y comparar los tiempos de ciclo del proceso de postulación antes y después de la implementación del automatizado.	Informe técnico con datos comparativos sobre los tiempos de pasteurización antes y después de la automatización.	Software de recolección y análisis de datos Excel. Registro de tiempos con cronómetros industriales.
	Revisar las variaciones en los tiempos de ciclo y analizar las causas de cualquier desviación significativa en el rendimiento.	Métodos estadísticos de análisis de procesos. Herramientas de análisis de eficiencia y económico.	Diagnóstico de eficiencia del sistema y determinación de oportunidades de mejora.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. Antecedentes

La leche es un alimento esencial en el consumo humano, especialmente en los infantes, donde favorece el crecimiento, y en la adultez, al contribuir con la salud por su alto contenido en calcio. Su importancia la convierte en un producto principal en la industria alimentaria. No obstante, la calidad del producto final está estrechamente relacionado con la temperatura durante el proceso de pasteurización. Por ello, es importante y crucial mantener la temperatura adecuada, ya que en un

exceso de calor se pueden destruir todos los nutrientes esenciales del producto, mientras que a una temperatura insuficiente no es conveniente, porque de cierta manera no se eliminan las bacterias y no solo esto, sino que también el producto resultante no ofrecerá el valor nutricional esperado. En los últimos años, la industria de lácteos ha evolucionado con la integración de sistemas de control para optimizar la producción de leche. Se ha pasado de controles manuales en equipos específicos a automatizados que incorporan microprocesadores y software específicos, permiten una mejor eficiencia y precisión en cada procesos. Este cambio responde a la complejidad de los procedimientos físicos y químicos, así como a la necesidad de cumplir con estrictos estándares de sanidad. La automatización mejora la eficiencia en la producción también garantiza la precisión en la formulación y la desinfección de los equipos, aspectos fundamentales para la competitividad y sostenibilidad en el sector. En 1867 Pasteur aplica calor a la leche y notifica que el proceso pospuso que la leche se haga agria, mientras que 1886 Soxhlet de Alemania y Jacobi de Estados Unidos defendieron el calentamiento de la leche para la alimentación infantil y revelaron que redujo las enfermedades y salvó vidas al eliminar agentes patógenos. En el año 1893 Straus Elaboró instalaciones para realizar el proceso de posterizar la leche para bebés y es en donde se forma la primera comisión médica que pueda supervisar la producción de leche certificada [1].

Se desarrolló un sistema de pasteurización de alta temperatura en un tiempo reducido para optimizar el control del proceso, facilitar el registro y análisis de datos. Para ello, se implementó un software que regula la temperatura del agua caliente, controla el paso a través de una bomba y gestiona la redirección del producto que no ha alcanzado el nivel de procesamiento adecuado. Se probaron tres enfoques de control: circuito único, en cascada y multivariable. El control de circuito único respondió con mayor rapidez a las variaciones de temperatura, aunque tardó más en estabilizarse en el valor deseado. Por su parte, la estrategia multivariable respondió ligeramente más rápido que la en cascada y tuvo una curva de respuesta de temperatura algo más suave [2].

El presente documento tiene como finalidad la automatización de la pasteurización de leche en la lechería TIOLAC, ubicada en la ciudad de Salcedo. Las tecnologías en el comercio se utilizan para optimizar el tiempo de producción y mejorar la eficiencia de los productos lácteos.

En Cotopaxi, la automatización de pasteurización de la leche es de gran importancia, lo que contribuye a la eficiencia y las mejoras de calidad en la producción. Un ejemplo importante es la modernización de la planta de helado Iglú, que se ubica en el Cantón Pujilí, donde se realizó la instalación de la automatización lo que permitió la optimización del producto final. Del mismo

modo, el consorcio de leche de Tungurahua incluyó el sistema automatizado de la pasteurización y requesón en la producción de queso fresco y logra una mayor eficiencia en cada etapa del proceso. Se ha desarrollado e implementado otro proceso importante dentro de la región utilizando un sistema SCADA para facilitar el control en tiempo real y el monitoreo de la pasteurización al mejorar la calidad del producto y la seguridad [3]. Estos proyectos reflejan un creciente interés en la modernización del sector lácteo, sentando las bases para futuras innovaciones en la industria.

3.2. Industria de Lácteos “TIOLAC”

La Industria de lácteos TIOLAC se dedican a la elaboración de derivados lácteos, su proceso de producción incluye varias etapas en las que se transforman los componentes principales para realizar un alimento de calidad que cumple con las exigencias del consumidor. En la actualidad, se aplica leche y frutas como materias primas.

3.2.1. Ubicación Geográfica

Con el sistema automatizado de pasteurización se implementará en la empresa TIOLAC, que se ubica en el barrio San Isidro de Salcedo perteneciente a la provincia de Cotopaxi, en Ecuador. La empresa está especializada en la producción y comercialización productos derivados de la leche, asegurando el producto mediante procesos controlados. Tanto la planta de producción como el área administrativa se encuentran en el mismo sitio, lo que facilita la gestión y supervisión de las operaciones.

A continuación, la georreferencia del lugar: $1^{\circ}01'15.7''S$ $78^{\circ}33'49.2''W$ y la Figura 3. 1, se presenta la ubicación geográfica del lugar.

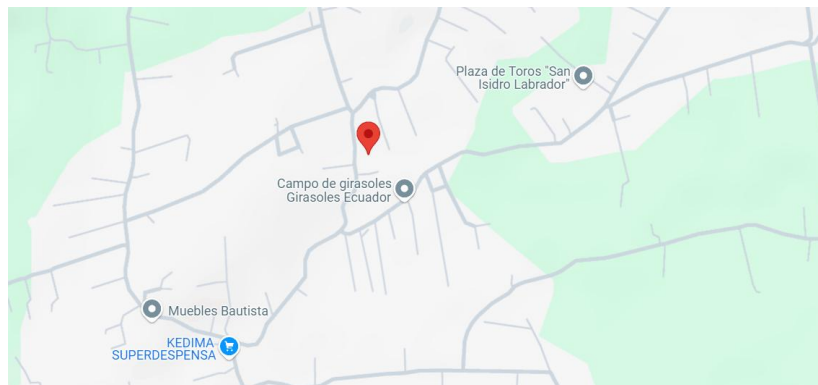


Figura 3. 1 Ubicación de la Industria Láctea TIOLAC.

La siguiente Figura 3. 2, muestra la fachada de las instalaciones de la Industria de Lácteos TIOLAC.



Figura 3. 2 Instalaciones de la Industria de Lácteos TIOLAC.

3.3. Automatización

La automatización se describe como la ciencia de técnicas de control de procesos que asocian a un grupo de disciplinas tecnológicas y teóricas con métodos matemáticos de análisis, sistemas automáticos, traductores de señal, accionadores, ordenadores o paneles de control, que intervienen en la construcción y aplicación de sistemas industriales controlados.

La automatización consiste en implementar métodos capaces de realizar tareas continuas e intervenir con la mínima operación del humano, permitiendo, a su vez uso de elementos para vigilar y controlar cada proceso dentro de cada zona. Así como los distintos servicios que ofrecen a los clientes de parte de las fábricas. Esto significa la implementación de instrumentación y dispositivos de maniobra en máquinas mecánicas, hidráulicas y eléctricas con la comunicación de paneles y controladores lógicos programables que enlacen cada uno de los elementos que componen el sistema de automatización [4].

3.3.1. Automatización por medio de procesos

La automatización de este tipo optimiza la producción al reducir costos operativos y mejorar la eficiencia del sistema. También contribuye a un entorno de trabajo más seguro y ergonómico, eliminando tareas repetitivas y facilitando la interacción con los equipos. Además, permite un mayor control sobre las variables del proceso y estandariza los procedimientos, lo que facilita el diagnóstico y la programación del mantenimiento.

3.3.2. Proceso Continuo

Un proceso continuo se caracteriza por conservar la constante producción, en el que los productos se generan de manera ininterrumpida sin un punto final definido. Este tipo de producción es

ampliamente utilizado en industrias que trabajan con materiales en estado líquido, gaseoso o en forma de gránulos, como la industria química, petroquímica, farmacéutica y alimentaria[5].

Características:

- La producción es continua y no existe separación visible entre productos.
- La producción es en grandes cantidades, frecuentemente orientada a la elaboración de productos homogéneos.
- Es común en industrias que requieren procesos de mezcla.

3.3.3. Proceso Batch

Un proceso Batch funciona agrupando tareas que se ejecutan una tras otra, sin necesidad de que un usuario intervenga constantemente. Imagina que las tareas se dividen en pequeños pasos que se van completando de manera continua, lo que no solo optimiza el uso de recursos, sino que también hace todo más eficiente. Este tipo de proceso es muy útil en situaciones donde se necesitan manejar grandes cantidades de datos o realizar tareas repetitivas, como cuando un sistema automatizado se encarga de todo el trabajo sin que alguien tenga que estar supervisando todo el tiempo [6].

Características

- Las tareas se procesan en bloques o lotes sin requerir interacción inmediata del usuario.
- Se combinan acciones manuales con tareas automatizadas para mejorar la eficiencia.
- Se ejecuta de manera secuencial y programada, reduciendo la carga del sistema en tiempo real.
- Se utiliza en industrias y sectores donde se manejan volúmenes de datos, informática y edición multimedia.

Ejemplos

La generación de extractos bancarios, el procesamiento de nóminas y la renderización de videos.

3.4. Pirámide de la automatización

Describe los diferentes niveles que tiene la automatización que pueden existir en una maquinaria, proceso o planta industrial, abarcando equipos de campo, como sensores y actuadores, hasta las redes de comunicación y el sistema de gestión de recursos de la empresa

En la Figura 3. 3, se muestran los niveles de automatización y también las tecnologías que utilizan:

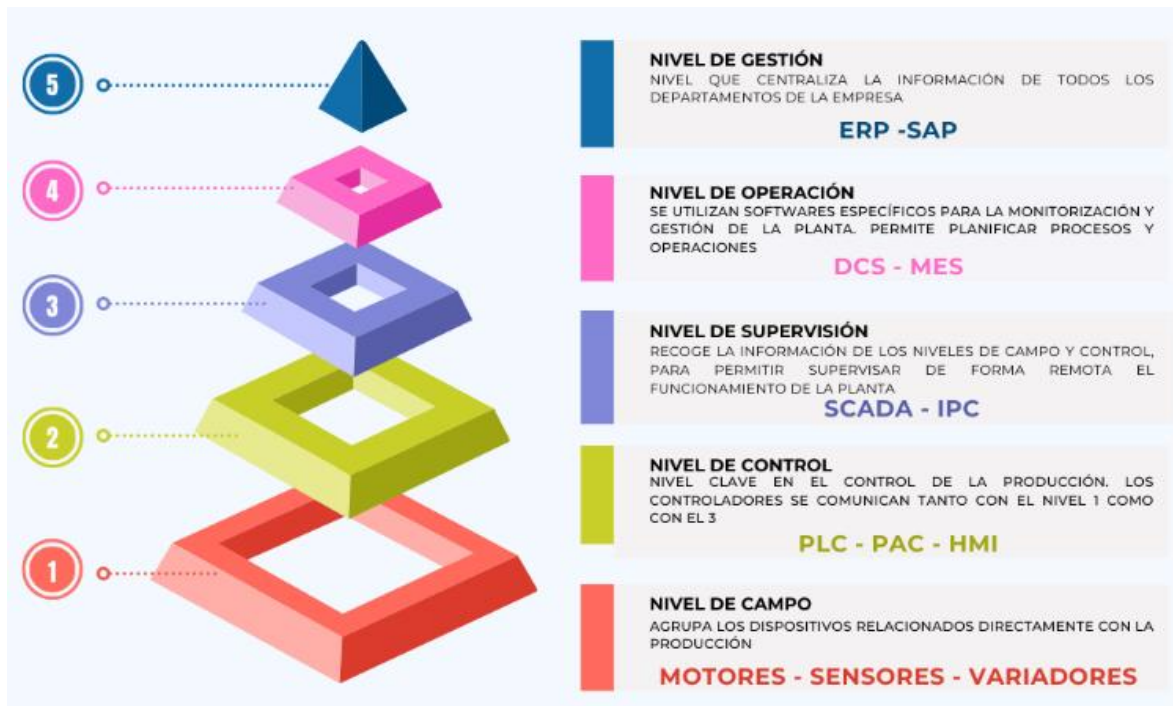


Figura 3. 3 Niveles de la Pirámide de Automatización .

3.4.1. Equipos de Campo (Nivel 0)

En este nivel se lleva a cabo la recolección de datos a través de instrumentos de medición. En este se encuentran los sensores y actuadores, los mismos que están distribuidos a lo largo del proceso y permiten el control de las máquinas y equipos de producción.

- Redes utilizadas: Comunicación analógica (4-20 mA, 0-10 V), comunicación digital (Modbus RTU, Profibus DP).
- Cantidad de datos: Se manejan señales en tiempo real, como valores de temperatura, presión y nivel. La transmisión de datos es continua y en pequeños paquetes (en el orden de bytes), ya que estos dispositivos solo envían y reciben variables de proceso específicas.

3.4.2. Control de Proceso (Nivel 1)

Abarca los elementos controladores lógicos locales tales como el PLC. Estos elementos son de control y mando para los equipos la maquinaria del nivel 0, además envían datos del estado del proceso al nivel 2.

- Redes utilizadas: Profinet, Modbus TCP/IP, Ethernet/IP, Profibus DP.

- Cantidad de datos: El PLC recibe múltiples comando a los sensores y envía señales a los actuadores. La cantidad de datos varía, pero suele oscilar entre kilobytes (KB) a megabytes (MB) por segundo, dependiendo de la cantidad de dispositivos conectados y la frecuencia de muestreo.

3.4.3. Operación y Supervisión HMI (Nivel 2)

Este nivel se destina principalmente en la supervisión del ciclo de producción, con el uso del procesamiento de datos, monitorización del sistema.

- Redes utilizadas: Ethernet industrial (Profinet, Modbus TCP/IP, OPC UA) y RS-485 para algunos sistemas más antiguos.
- Cantidad de datos: Se transmiten variables de proceso, estados de alarmas y tendencias en tiempo real. En sistemas SCADA, los datos pueden almacenarse en bases de datos históricas, lo que implica volúmenes de información en el rango de MB a GB por día.

3.4.4. Planificación y Operación MES (Nivel 3)

Este nivel está destinado a gestionar la fluctuación de trabajo ya que programa la producción, gestiona los materiales.

- Redes utilizadas: OPC UA, MQTT, bases de datos SQL.
- Cantidad de datos: Manejan notas de producción, reportes de eficiencia y desempeño de máquinas. La cantidad de datos depende del tamaño de la planta, pero puede oscilar entre GB y TB en grandes sistemas.

3.4.5. Manufactura e Información ERP (Nivel 4)

Este nivel es encargado de realizar la gestión comercial y la planificación estratégicas de ventas de la empresa, así como el marketing del producto, realiza la planificación financiera, administrativa además de ser la encargada de la gestión de recursos humanos [7].

- Redes utilizadas: TCP/IP, Web Services, bases de datos SQL, SAP.
- Cantidad de datos: Se gestionan órdenes de producción, inventarios y logística, generando volúmenes de información en el rango de TB, dependiendo de la cantidad de datos históricos almacenados.

3.5. Arquitectura de un Sistema de Producción

La producción industrial son los distintos enfoques que se emplea una empresa para modificar una materia prima en un producto elaborado que se pueda comercializar.

Un sistema de producción industrial se compone de las partes que se muestran en la Figura 3. 4:

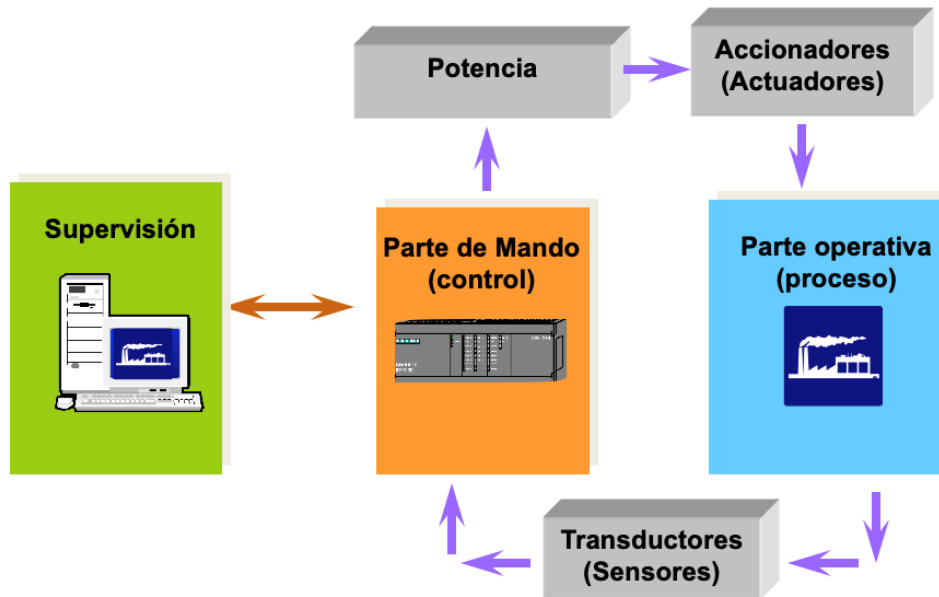


Figura 3. 4 Sistema de Producción Industrial [8].

3.5.1. Definición de las partes de un sistema de producción industrial

Control: Es la parte encargada de ejecutar las ordenas que fueron programadas, y así los trabajadores pueden estar en otras áreas de producción. El control debe tener la capacidad de conectarse con el sistema.

Proceso: Es la sección que interactúa de forma directa con la máquina. Son los componentes que permiten a la máquina que ejecute la operación. Los componentes que de la parte operativa solo los que se incluyen como maquinas, motores.

Actuadores: Los actuadores permiten que el control actúe sobre el proceso. Los motores , relés y electroválvulas forman parte de esto.

Sensores: Estos elementos son los que permiten a los actuadores conocer el estado del proceso. Estos elementos son sensores de temperatura y sensor de nivel.

Sistema supervisor: Es el que monitorea y controla las instalaciones de manera lejana a través de una interfaz. Normalmente suele tratarse de un sistema SCADA [8].

3.5.2. Los sistemas SCADA en la automatización industrial.

Los sistemas SCADA, llamado supervisor y conjunto de datos, le permite controlar los sistemas locales o eliminarse a través de interfaces gráficas que conectan a los usuarios al sistema. Estos sistemas son aplicaciones diseñadas para operar en computadoras de gestión de producción en comunicación digital con herramientas y discos. Aunque originalmente se usaron para controlar y obtener datos. Aunque inicialmente se utilizaban solo para supervisar y adquirir datos, han evolucionado con hardware y buses adaptados para estos fines. La relación se realiza utilizando la parte de PC durante la instalación centralizada, el bucle de cierre en la computadora de monitoreo principal. El sistema permite controlar automáticamente el proceso a través de dispositivos de campo, y su interfaz es configurable y fácilmente modificable por el usuario[9]. Esta Figura 3. 5, indica el diseño de un SCADA tradicional, como forma de un ejemplo:

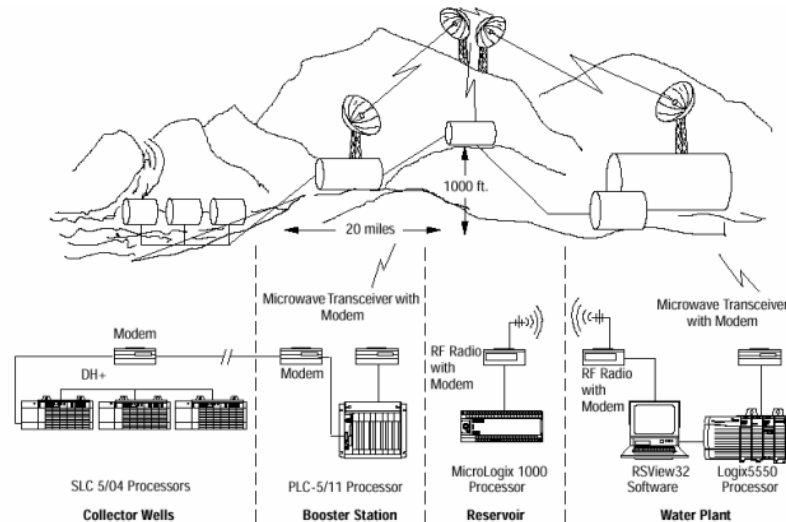


Figura 3. 5 Ejemplo de un Sistema SCADA tradicional:

3.6. Sistema de Control

Las señales externas al sistema se las clasifica en dos grupos las cuales son variable control estas se pueden manipular y perturbaciones son señales de ruido que no se pueden controlar de ninguna forma.

Los elementos que se usan comúnmente en un sistema de control son:

Sensores: Es el elemento que nos muestra valores de variantes físicas que participan en el sistema, en este caso serían los elementos de temperatura y nivel.

Controlador: analiza las variables y sus valores que son dadas por los sensores y la señal que esta impuesta, de esta forma calcula la respuesta que se debe aplicar para la modificación de las variables de salida con base a la información dada.

Actuador: Permite ejecutar las acciones impuestas por el controlador además de modificar las variables de control [10].

Con la Figura 3. 6, se muestra los elementos de control que se usan comúnmente.

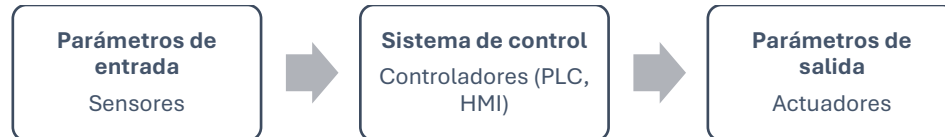


Figura 3. 6 Automatización de Procesos Industriales.

Dentro de los parámetros de entrada tenemos a los sensores de temperatura y al de nivel. Como actuadores tenemos a los motores, electroválvulas, nivel y temperatura.

3.6.1. Tipos de sistema de control

➤ Sistema de control de lazo abierto

El sistema de control de tipo lazo abierto no mide salida ni la retroalimentación para poder hacer una comparación con su entrada, por no influye en la acción del control. Siendo la situación, las señal que ingresan al sistema tiene una operación fija, y la calibración es esencial para una buena precisión depende únicamente de la calibración. Este tipo de sistema es vulnerable ante perturbaciones y se utiliza cuando se conoce la relación entre la entrada y la salida, es decir, la función de transferencia. La estabilidad no es un factor relevante en este tipo de control [11].

En la Figura 3. 7, se visualiza los elementos del Sistema de control de lazo abierto:

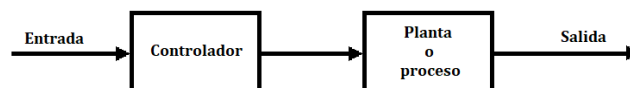


Figura 3. 7 Componentes de Control de Lazo Abierto.

➤ Sistema de control lazo cerrado

Estos sistemas tienen retroalimentación, porque su salida no depende únicamente de la variable de entrada, sino en conjunto con la señal de error, y permite que responda de forma adecuada el sistema. El feedback se emplea para minimizar los errores del sistema, y hace que las respuestas

sean inmunes a las perturbaciones externas y las variaciones internamente de los parámetros. La ventaja de esta es permitir la reducción de costos de la implementación la implementación al utilizar instrumentos menos precisos y económicos, lo que aumenta la eficiencia del sistema. Este tipo de controladores se caracterizan por su estabilidad y robustez [11].

La Figura 3. 8, es una representación de los componentes del Sistema de Control de Lazo Cerrado:

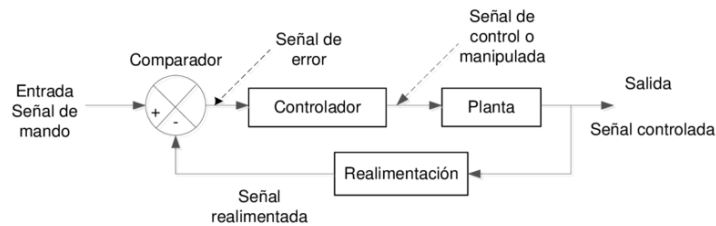


Figura 3. 8 Componentes del Sistema de Control de Lazo Cerrado.

3.6.2. Controlador Lógico Programable (PLC)

Los PLC surgen en los años 60, con la intención de cambiar los sistemas de relé y de contactores, que generaban altos costos de mantenimiento y eran rígidos. Estos dispositivos debían ser programables de manera sencilla por ingenieros o técnicos utilizando circuitos de contactos y contar con una vida útil más prolongada. Con el tiempo, los PLC han evolucionado junto con la industria, permitiendo su programación mediante diagramas tipo bloques, listas de indicaciones y texto.

Un PLC es una minicomputadora empleada para la automatización de procesos eléctricos y procesos electromecánicos. Según la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, el PLC cuenta con memoria programable que almacena instrucciones sobre funciones específicas como funciones lógicas, temporizar, calcular, y controlar las variables. Dispone módulos de entradas analógicas y digitales, y lo mismo para las salidas, y se pueden aplicar en procesos y maquinarias. Su estructura básica incluye procesador, memoria, fuente de alimentación, interfaz de entrada/salida, interfaz de comunicación y dispositivo de programación.

➤ Normas para programar PLC estándar IEC-61131

La normativa IEC-61131 se refiere a los mecanismos autónomos programables y sus dispositivos auxiliares, así como a el reconocimiento de sus principales detalles, aplicaciones y componentes de la Interfaz HMI, diseñados para el control de maquinaria y procesos industriales. Se definen los principales lenguajes de programación, junto con sus reglas de escritura y significado. También se describe el modelo de software, las instrucciones fundamentales y las distintas maneras de ampliar

o personalizar los dispositivos según las necesidades específicas. Sin embargo, los sistemas aún se desarrollan según el fabricante, lo que genera baja compatibilidad, poca flexibilidad normativa y costos elevados para los usuarios.

La norma se compone de las siguientes secciones:

- 1) Panorama general
- 2) Componentes de hardware
- 3) Códigos de programación
- 4) Manual de uso
- 5) Sistemas de comunicación

3.6.3. Interfaz hombre máquina (HMI)

La interfaz hombre máquina es un sistema diseñado para facilitar la interacción entre el operador y el proceso automatizado. Su principal propósito es mantener informado al operador sobre el estado del sistema permitiendo reducir errores como también minimizar los costos de mantenimiento. La información que se intercambia entre la HMI y el sistema se presenta mediante elementos gráficos o numéricos los mismos que deben seguir estándares con unos términos claros y fácil de entender.

Para la implementación de una HMI se pueden utilizar distintos dispositivos:

Paneles de operador: Pueden ser entre textuales o gráficos como monocromático o color, y con teclado de membrana o pantallas táctiles.

Móviles: Se emplean para la automatización en viviendas inteligentes.

Software especializado: Incluye el uso de computadoras industriales en aplicaciones SCADA.

Internet: A través de los servidores web se utiliza internet para implementar la HMI, siendo la principal desventaja la seguridad cibernética [12].

➤ Normas de implementación para una HMI según la ANSI/ISA-100.01

El propósito de la normativa es crear una HMI que sea entendible con alternativas de control y exploración lo que reduce los errores y el estrés del operario para aumentar la productividad. Otro objetivo es mejorar potencial del usuario en detección, diagnósticos y de esta manera responder a los escenarios que se den en una planta. Esta proporciona directrices para realizar diseños, construcciones, así como también operaciones y mantenimientos de la HMI, con la finalidad de

lograr un sistema de control seguro y eficiente, sin importar las condiciones operativas. Al diseñar una HMI deben presentar la HFE y ergonomía considerando los siguientes puntos:

- Debe ser adecuada para las labores del usuario, permitiendo controlar y monitorear maquinarias y reduciendo tareas adicionales.
- La apariencia debe ser consistente para facilitar la interpretación y visualización de la información.
- Las funciones deben ser fáciles de usar e intuitivas.
- Se debe diseñar para la mayoría de los escenarios, incluso donde se incluyan situaciones inusuales como el control de alarmas.
- La terminología utilizada debe ser clara y comprensible para el usuario.
- Los colores deben seguir normas establecidas para prevenir el estrés o la fatiga visual [13].

3.6.4. Sistemas de Medición

En el presente proyecto el sistema que permite medir las variables son los sensores, ya que están encargados de capturar información de las diferentes variables y transformas en señales de voltaje o corriente, para posteriormente sus datos puedan ser procesados y analizados. Existen una gran variedad de sensores de proximidad, alcance, temperatura, humedad, entre otros, su aplicación está en las industrias como: automotriz, láctea, medica, domótica y petrolera, entre otros.

➤ Sensor de nivel (Tipo Ultrasónico)

Los ultrasonidos so una forma de radiación mecánica con frecuencias superior a la capacidad audible que es de 20kHz. La cual interactúan con los objetos al reflejarse, transmitir y absorber. Cuando este detecta movimiento entre la fuente y el objeto, se produce un cambio de frecuencia y se denomina efecto Doppler. Estas propiedades son las que permiten medir diferentes magnitudes físicas de manera no invasiva, de forma que no sea necesario acceder al área donde ocurren los cambios. La distancia del objeto será determinada tras medir el tiempo que tarde el sonido en regresar al reflejarse [14].

➤ Sensor ultrasónico de nivel, sin contacto

Los sensores serie LVU40 ofrecen una gran flexibilidad en la continua medición de nivel de productos líquidos necesidad de contacto debido a su habilidad de programación, comunicación RS-232 o RS-485, y ajuste mediante un pulsador. Además, cuentan con emisión de señales de corrección de temperatura, lo que les permite ofrecer una medición altamente precisa en un rango

de 0.3 a 18.3 m (1 a 60'). Estos sensores están equipados con un sistema de filtrado avanzado que elimina prácticamente los ecos falsos causados por obstrucciones periféricas. Un ejemplo del sensor es la Figura 3. 9:



Figura 3. 9 Sensor Sin Contacto.

➤ **Sensor de nivel con radar**

Los transmisores por radar LVRD500, se mostrados en la Figura 3. 10, representan una opción accesible para la medición de niveles de líquidos sin necesidad contacto, trabajando como una evolución natural de los sensores ultrasónicos. Son usados en entornos donde factores como vapor, polvo o espuma pueden interferir con la precisión de la medición ultrasónica. Estos dispositivos usan tecnología de radar basada en pulsos de microondas, lo que les permite monitorear el nivel de los líquidos desde el punto de instalación hasta el fondo del tanque. Su procesamiento de señales llamado marcador de eco garantiza mediciones continuas y confiables, sin tener afectación por las condiciones del ambiente. Además, están disponibles en versiones con comunicación RS-232 y RS-485 facilitando así su integración en distintos sistemas de monitoreo y control.

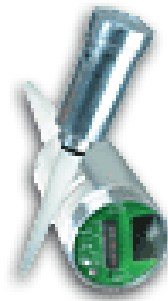


Figura 3. 10 Sensor con Radar.

➤ Interruptor de paletas rotatorias - material seco

La serie LVD-800 ofrece los interruptores integrados con paletas rotatorias, representados en la Figura 3. 11, son ideales para la detección de una amplia variedad de elementos como granos, pellets y en polvo. Usan una tecnología magnética certificada que garantiza un monitoreo confiable en depósitos, tolvas, silos y tanques de esta forma minimizando el riesgo de fallas. Por microcontrolador que tienen la capacidad de autodiagnóstico, estos dispositivos supervisan continuamente el giro de la flecha y el motor, reaccionando de inmediato ante la presencia de material o posibles fallos mecánicos o eléctricos. A diferencia de los sistemas ópticos su tecnología de detección magnética evita problemas causados por la acumulación de suciedad. El diseño de estos interruptores incluye una cubierta de cierre giratorio que elimina la necesidad de tornillos y también cuenta con dos entradas de conductos en la mayoría de los modelos y una luz indicadora de estado. Asimismo, existen versiones diseñadas para operar en alta temperatura con una clasificación de hasta 399 °C.



Figura 3. 11 Interruptor de nivel de paletas.

➤ Sensor de nivel de capacitancia

Las sondas de la serie LV3000/4000 están diseñadas para ofrecer mediciones de nivel confiables y continuas, incluso en situaciones críticas de alta temperatura y de alta presión, y son resistentes a muchos agentes corrosivos. Son ideales para aplicaciones que incluyen líquidos, pastas y para algunos sólidos, tanto conductivos y no conductivos. Estas sondas no poseen elementos móviles, lo que facilita su instalación y asegura una mayor durabilidad. Funcionan rectificando y filtrando la energía que entra, generando una onda de radiofrecuencia y calculando las modificaciones de la corriente. El circuito electrónico genera una señal de salida mediante 2 hilos con un rango de 4 a 20 mA, que es relativo al nivel del proceso. Se puede optar por un modelo con aislamiento de PTFE para evitar cortocircuitos [15].

El modelo del sensor LV3000/4000, está en la Figura 3. 12:



Figura 3. 12 Sensor de Capacitancia[15].

➤ **Sensor de temperatura**

Son utilizados para registrar la temperatura, garantizando los procesos estén dentro del rango seguro. Y estos no solo proporcionan seguridad en la aplicación, sino que también cumplen las normativas y temperaturas exactas [16].

➤ **Termopares**

Los termopares son sensores económicos y fáciles de instalar. Funcionan mediante la interacción de 2 metales diferentes, estos deben generar un voltaje cuando hay una diferencia de temperatura entre ellos. Son ideales para un amplio rango de temperaturas, pero pueden tener una respuesta lenta. Los tipos más comunes son:

- Tipo J: Hierro-Constatan, para temperaturas de -40°C a 750°C .
- Tipo T: Cobre-Constatan, ideal para bajas temperaturas (-200°C a 350°C).
- Tipo K: Cromo-Níquel, con un rango de -200°C a 1372°C .
- Tipo E: Cromo-Níquel-Constatan, para un rango de -200°C a 900°C .

➤ **Sensores RTD (Resistencia a la Temperatura)**

Los RTD funcionan mediante la variación de resistencia de materiales como el platino al cambiar la temperatura. Son muy precisos y estables, ideales para entornos industriales. Un tipo común es el PT100, que tiene 100 ohmios de resistencia a 0°C y cubre un rango de -200°C a 850°C .

➤ **Termistores**

Los termistores son sensores que utilizan materiales semiconductores en el que su resistencia cambia considerablemente con la temperatura.

- Coeficiente de Temperatura Negativo o NTC: En este caso, la resistencia disminuye a medida que la temperatura aumenta. Son ideales para medir temperaturas en un rango más amplio.

- Coeficiente de Temperatura Positivo o PTC: Cuando varia la temperatura su resistencia aumenta. Se utilizan para protección contra sobrecalentamientos.

➤ **Sensores Infrarrojos sin Contacto**

Estos sensores capturan la radiación infrarroja que emite el objeto. Y son ideales para medir objetos en movimiento o de difícil acceso. Su rango de medición varía de -20°C a 2000°C , dependiendo del modelo.

Cada sensor posee características que le hace adecuado para diferentes usos, dependiendo de factores como precisión, rango de temperatura y condiciones del proceso .

3.6.5. Transmisores de señal

Los transmisores son instrumentos encargados de captar variables del proceso y transmitirlos a un receptor el que puede ser un indicador registrador de señal [17].

➤ **Señales de transmisión**

➤ **Neumáticas**

Los transmisores de este tipo producen una señal por medio de una presión de aire, que varía de manera lineal de 3 a 16 psi, y mide en un rango del 0 al 100 % de las variables. En un sistema métrico con decimal, la señal utilizada es de 0,2 a 1 bar, lo que es equivalente a la señal anterior. Finalmente, la presión que sale refleja el valor del parámetro correspondiente.



Figura 3. 13 Convertidor de señal neumática a digital.

➤ **Eléctricos**

Los transmisores eléctricos son precisos y responde rápidamente, y estos generan de 4 - 20 mA a distancias desde 200 m hasta 1 km, dependiendo del tipo de instrumentación. Como ventajas se

incluyen alta velocidad de transmisión y bajo costo, pero son sensibles a la contaminación electromagnética [18].



Figura 3. 14 Transmisor Eléctrico.

➤ Analógicos hidráulicos

Los transmisores hidráulicos analógicos son dispositivos diseñados para transformar variables físicas, como la presión o la temperatura, en señales de tipo analógicas mediante el uso del fluido de cualquier tipo. Se caracteriza por tener precisión y confiabilidad, lo que hace ideal para los entornos industriales pro que es donde se requiere un monitoreo constante y también exacto. Gracias a que operan en diferentes rangos, este tipo de transmisor ayudar a tener estabilidad y que el proceso sea eficiente [19].

➤ Telemétrica

Esta tecnología permite medir y a transmitir datos a distancia, ya que facilitan el monitoreo de datos en tiempo real y de diferentes variables. La implementación de esto hace que se optimice la gestión de los procesos reduciendo los costos de operación y también minimizando la intervención humana. Y haciendo que sea seguro la supervisión continua las situaciones críticas [20].



Figura 3. 15 Sensor de Telemetría [20].

3.7. Actuadores

Son los elementos automatizados y que utilizan la energía eléctrica para poder generar movimiento o torque eléctrico. Es así como se les conoce a los actuadores eléctricos. Y estos dispositivos transforman la energía eléctrica en energía mecánica, estos se clasifican dependiendo su principio de funcionamiento y la aplicación. Los mas utilizados son motores eléctricos, motorreductores y electroválvulas. La selección de un actuador depende de factores como la precisión, la velocidad y la fuerza necesarias en el proceso, lo que los convierte en componentes clave en sistemas automatizados y de control industrial.

3.7.1. Motores CA



Figura 3. 16 Motor Trifásico - 1800rpm .

Estos se usan comúnmente en el entorno industrial, gracias a la disponibilidad de esta fuente de energía. Estos dispositivos consisten en un estator externo con bobinas que generan un campo magnético rotativo y también un rotor interior en el que se crea un segundo campo magnético.

- Se clasifican en varios tipos
- De Inducción: Rotor gira a menor velocidad que el campo magnético.
- Síncronos: Operan a velocidad constante, ideales para automatización.
- De imanes permanentes: Mayor eficiencia y potencia, usados en vehículos eléctricos, drones y maquinaria industrial.

3.7.2. Motores trifásicos

Este tipo de motor funciona con energía de un sistema trifásico puede ser alimentado por una fuente trifásica o un convertidor de frecuencia. Se encuentra disponible en versiones síncronas y asíncronas.

Los motores trifásicos cuentan con cuatro hilos los cuales son: tres de fase y uno de neutro, y funcionan con tres corrientes alternas de la misma frecuencia. La generación de un campo magnético giratorio, no requieren un condensador para el arranque por esa razón son ampliamente utilizados en diversas industrias como la de elevación, química y médica, así como en el accionamiento de equipos eléctricos, laminadores, tornos, maquinaria pesada y bombas.

3.7.3. Motores monofásicos

Este tipo de motores se alimentan de manera monofásica y por lo tanto solo tienen fase y neutro. Su potencia máxima es de 3 kW. La corriente que circula por los cables es alterna y esta siempre es constante.

Este tipo de motor se utiliza para aplicaciones ligeras, en ciertos casos se utilizan porque no tienen acceso a una red trifásica, comúnmente se les puede encontrar en bombas de agua, ventiladores, máquinas para perforación y bandas de transporte [21].

3.7.4. Motor reductor

Un motorreductor consta de un motor eléctrico y un conjunto de engranajes formando una cadena cinemática, fundamental para regular la velocidad. Esta cadena incluye una caja reductora y engranajes que permiten ajustar la velocidad, ya sea aumentándola o reduciéndola.

➤ Reductores planetarios

Los motorreductores planetarios son ampliamente utilizados debido a su versatilidad y fiabilidad, especialmente en transmisiones automáticas. Este tipo de motorreductor se caracteriza por su estructura compuesta por un engranaje central, conocido como sol, un porta planetas que sostiene varios engranajes y una corona externa. Este diseño permite que el eje central funcione como el centro de rotación, lo que facilita un cambio automático de dirección.

➤ Sinfín corona

El motorreductor sinfín-corona es uno de los modelos más simples y efectivos. En este sistema, el movimiento se transmite a la corona a través de un sinfín que se encuentra acoplado a su eje. Su principal ventaja es que reduce la velocidad en pocas etapas, así se vuelve muy útil en las aplicaciones donde requiere una reducción eficiente y compacta.

➤ De ejes paralelos

Los motorreductores de este tipo están constituidos por pares de engranajes con diferentes tipos de dientes, que varían en función de la aplicación y las necesidades de potencia. Estos incluyen:

Engranajes cilíndricos de dientes rectos, que son simples y eficaces para transmitir el movimiento.
Engranajes cilíndricos de dientes helicoidales, que ofrecen mayor potencia, velocidad y menor ruido en comparación con los de dientes rectos.

Engranajes doble helicoidales, que brindan aún más eficiencia y capacidad de carga [22].

3.7.5. Electroválvulas

Una válvula solenoide se compone principalmente de dos elementos: el elemento es el solenoide y el cuerpo de la válvula.

El solenoide tiene una bobina inductiva que rodea un núcleo central de hierro conocido como émbolo.

Cuando la válvula está en reposo, puede ser normalmente abierta o cerrada. Si es normalmente cerrada, el émbolo permanece en su lugar debido a la fuerza del resorte. Sin embargo, cuando pasa corriente por el solenoide, este se energiza y produce un campo magnético que imanta al émbolo, superando la resistencia del resorte. Esto hace que el émbolo se levante, permitiendo que el sello abra el orificio y permita el paso del fluido. En el caso de las válvulas normalmente abiertas, el funcionamiento es el inverso.

➤ Válvula solenoide NC

Una válvula normalmente cerrada permanece así cuando está desenergizada, evitando el flujo de medios. Al energizar la bobina, se produce un campo electromagnético que levanta el émbolo, abriendo el orificio y permitiendo el paso de los medios. Este tipo de válvula es eficiente en aplicaciones que requieren estar cerrada por largos períodos y es útil en situaciones de seguridad, como en electrodomésticos de gas.

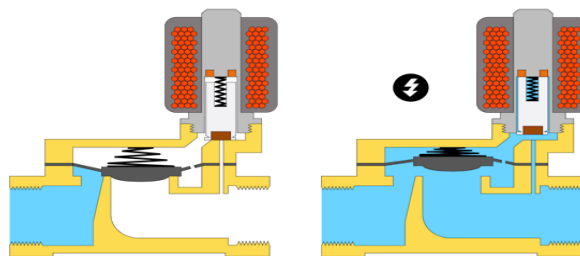


Figura 3. 17 Válvula Solenoide NC [23].

➤ Válvula solenoide NO

Una válvula normalmente abierta permite el flujo de medios cuando está desenergizada. Al energizar la bobina, el campo electromagnético mueve el émbolo hacia abajo, cerrando el orificio y deteniendo el flujo. Este tipo de válvula es eficiente cuando debe mantenerse abierta por largos períodos y se utiliza en aplicaciones de seguridad para prevenir sobrepresiones [23].

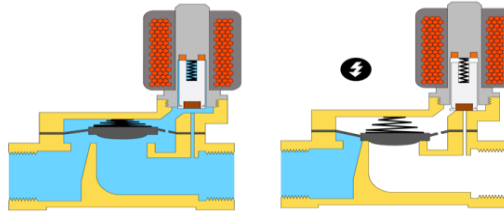


Figura 3. 18 Válvula Solenoide Normalmente Abierta [23].

3.8. Pasteurización

Los términos pasteurización o pasterización vienen de Louis Pasteur, quien en 1860-1864 demostró calentando el vino a cierta temperatura y por específica cantidad de tiempo se evitaba su descomposición. Posteriormente se encontró que todos los microorganismos patógenos presentes en la leche podían ser destruidos mediante el calentamiento de la leche, sin que esto altere sus propiedades.

Por definición, la leche pasteurizada es aquella que ha pasado un proceso térmico específico y por un tiempo determinado para lograr la eliminación total de los organismos patógenos que esta pueda contener, sin alterar en forma considerable su composición, sabor, ni valor alimenticio [24].

Desde los comienzos las investigaciones de la pasteurización han sido relacionadas con la leche ya que en esta existen una serie de microorganismos que tienden a desarrollarse en temperaturas ambiente que rondan los 25 °C a 37 °C, es por esta razón que en la industria lechera usan la pasteurización y así después que la leche ha pasado por el proceso de pasteurización procede al almacenaje o directa producción. Para no mermar las cualidades de la leche con el paso de los años se han desarrollado algunas técnicas que permiten eliminar la mayoría de los agentes patógenos y de aprovechar todos los nutrientes de la leche [25].

3.8.1. Procesos para la pasteurización

Existen diversos métodos de pasteurización de leche esto se han desarrollado mediante varias técnicas de producción generalmente la mayoría de ellos se realizan antes de llegar al punto de

ebullición y otros superan estas temperaturas, pero en intervalos cortos de tiempo para que de esta manera la calidad no se vea afectada en ninguna manera.

Los procesos de pasteurización de la leche, incluyendo la pasteurización lenta, la pasteurización de alta temperatura y corto tiempo y el tratamiento de ultra alta temperatura, están regulados por el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 076 (1R): “Leche y productos lácteos. Requisitos”. Esta normativa establece los parámetros técnicos, condiciones de operación y requisitos de calidad que deben cumplir estos procesos para garantizar la inocuidad del producto y protección de la salud pública. La norma se encuentra detallada en el [Error! No se encuentra el origen de la referencia..](#)

➤ **Proceso VAT**

Éste fue uno de los primeros procesos en su tipo debido a esto al transcurrir de los años de este proceso fue modificado constantemente por otro sistema más eficaces y actuales. Él se trata de calentar grandes cantidades de leche en un olla a 63 °C durante el lapso de 30 minutos para posteriormente dejarlo bajarlo de temperatura.

➤ **Proceso High Temperature Short Time**

En este proceso se somete al alimento a una temperatura cercana a los 79 °C, con tiempo de mínimamente 15 segundos, este método es muy común en la industria por la cantidad de tiempo en procesar grandes volúmenes.

➤ **Proceso UHT**

Este proceso somete a un alimento a 138 °C de temperatura, en un tiempo máximo de 2 segundos permitiendo que de esta forma haya un mínimo deterioro en el alimento para conservar degradación de los alimentos para conservar sus características [26].

La Tabla 3, presenta los tres tipos de pasteurización y los parámetros que deben cumplir.

Tabla 3: Tipo y Parámetros de Pasteurización [26].

Tipo de Pasteurización	Tiempo	Temperatura
Proceso VAT	30 min	62 – 65 °C
Proceso HTST	15 s	72 – 78 °C
Proceso UHT	1 – 2 s	138 °C

3.8.2. Proceso utilizado

El proceso que se utiliza actualmente en la industria corresponde al tipo de pasteurización tipo HTST de esta manera se produce una óptima calidad en el producto modificando lo menos posible sus propiedades químicas y físicas, como también sus características nutricionales.

➤ Proceso HTST

En este tipo de proceso la carga de leche a pasteurizar es trasvasada a una tina con camisa doble fondo (marmita) en la cual se introduce vapor para el calentamiento y para el proceso contrario agua de tal forma generamos cambios en la condición térmica.

Este proceso actualmente se está llevando con un método manual tomando en cuenta variables como temperatura y nivel con interpretación directa de los operadores.

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1. Métodos

Esta propuesta tecnológica tiene como objetivo describir, desarrollar y explicar cómo funciona la automatización y control de la pasteurización en la industria de lácteos TIOLAC, que se ubica en Salcedo - San Isidro. Además, se plantean diversas metodologías para demostrar la eficiencia del sistema.

El propósito principal de automatizar es optimizar los tiempos de pasteurización y mejorar el apoyo al personal reducido con el que cuenta la industria. Asimismo, la automatización de este proceso se basa en el uso de instrumentos y métodos que facilitan el diseño integral en el ámbito de la Ingeniería Eléctrica, empleando herramientas computacionales para simulación, programación e implementación.

Permite tener un respaldo teórico técnico de la automatización de este tipo de proceso ya que permite la revisión de libros, artículos científicos, los softwares que se utilizan para su programación y también fuentes digitales.

4.1.1. Método bibliográfico

Para realizar la automatización se realiza la investigación en fuentes de revistas, libros, artículos científicos y por ultimo los sitios web, los cuáles forman parte para el desarrollo del presente documento. En el que se analizan algunos proyectos en relación con el tema de la automatización de procesos referente a la pasteurización.

4.1.2. Método de campo

Se utiliza el método para así identificar de cómo está construida e instalada la marmitta dentro de la industria de lácteos, lo cual permitió verificar dimensiones, del funcionamiento y operación, así como también los aspectos eléctricos para la instalación.

4.1.3. Método experimental

Es el que permite realizar la pruebas durante la programación y automatización permitiendo tomar variables como la temperatura y los niveles, así como también el verificar si el sistema de automatización es eficiente.

4.1.4. Método inductivo

El método es importante porque permite que los datos sean proporcionados y verificados por los sensores, especialmente en relación con los niveles de temperatura y fluido Esta información fue la clave para precisar el elemento y optimizar el control del sistemas.

4.1.5. Método cuantitativo

Con este método se identifican y analizan los parámetros necesarios para que se garantice el correcto funcionamiento del proceso. Donde también se evaluaron las variables eléctricas de entradas y salidas del PLC, donde el voltaje de operación es de 110 V. Además, se determinan las condiciones de las dos electroválvulas y los elementos necesarios para que el sistema sea eficiente.

4.2. Técnicas de investigación

4.2.1. Observación

Mediante la técnica se logró analizar el tiempo requerido para el proceso, comparando el proceso automático con el manual. Asimismo, se establecieron las dimensiones óptimas para diseñar.

4.2.2. Medición

Esta método se utiliza para la obtención de las magnitudes y calibraciones La técnica obtener las magnitudes y calibraciones correspondientes para controlar el proceso, donde se enfoca en el nivel de la leche y la temperatura del sistema. Donde se utilizaron sensores para poder monitorear la precisión de los parámetros del proceso. Además, se utilizaron instrumentos de medición, como el multímetro, para verificar los valores de voltaje y corriente en los dispositivos involucrados en la automatización.

4.2.3. Simulación

La simulación permite determinar los componentes esenciales para automatizar y controlar las variables tanto digitales como analógicas dentro del proceso. Para el desarrollo del gráfico para el sistema, se utilizó el software AutoCAD, permitiendo un diseño detallado de la automatización. Además, se empleó el software de programación TIA Portal para configurar y poder controlar el PLC Siemens S7-1200, asegurando un funcionamiento preciso del sistema.

➤ Simulación de ajustes previos a la automatización

La Figura 4. 1, presenta el diseño para la adaptación para la automatización, lo que hace incluir en la parte superior las respectivas válvulas que harán habilitar el proceso automático para que circule el agua y vapor, posteriormente a esto se encuentran las electroválvulas, la parte inferior es en caso de que el uso sea manual.

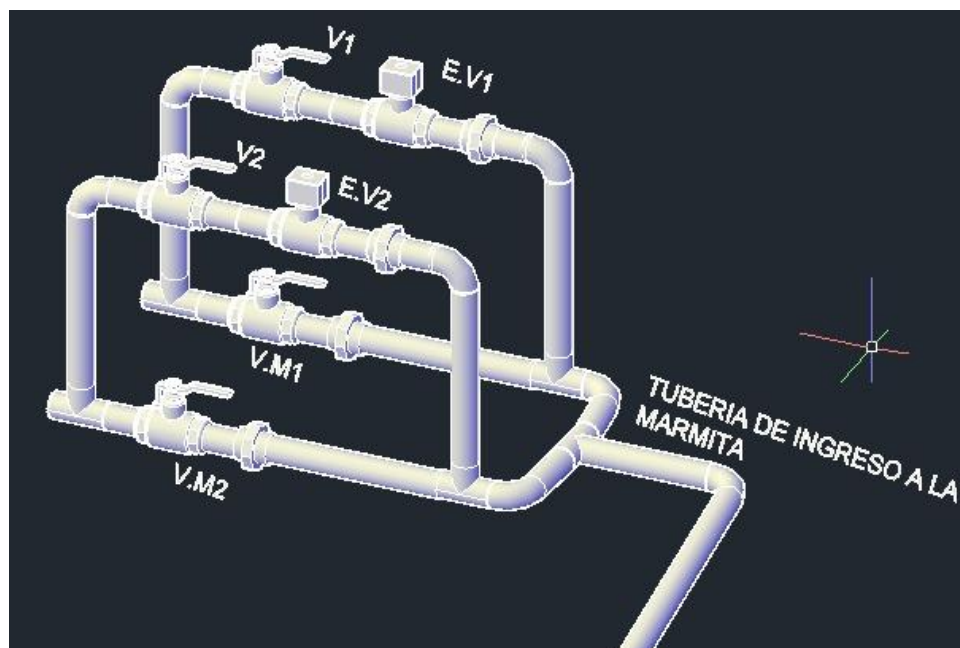


Figura 4. 1 Bypass para uso manual y automático.

Tomando como referencia el gráfico anterior V1 y V2 son una válvula tipo bolo para habilitar el proceso automático, V.M1 Y V.M2 son válvulas tipo bolo para uso manual y finalmente la E.V1 y E.V1 son las electroválvulas empleadas para la automatización.

En la Tabla 4, muestran detalladamente la medida, el material y la acción de cada componente.

Tabla 4: Características del BYPASS.

BYPASS TUBERIA		
TIPO	DETALLE	
Codo	Medida	3/4
	Material	Acero
	Acción	Paso vapor-agua
TIPO	DETALLE	
Neplos	Medida	(3/4 *5cm) (3/4*10cm)
	Material	Acero
	Acción	Paso vapor-agua
TIPO	DETALLE	
Unión universal	Medida	3/4
	Material	Acero
	Acción	Paso vapor-agua
TIPO	DETALLE	
Llaves de alta presión	Medida	3/4
	Material	Acero
	Acción	Paso vapor-agua Accionamiento on-off
TIPO	DETALLE	
Electroválvula de vapor	Medida	3/4
	Material	Acero
	Acción	Vaso vapor Accionamiento on-off (110V)
TIPO	DETALLE	
Electroválvula de agua	Medida	3/4
	Material	Acero
	Acción	Paso agua Accionamiento on-off(110V)

Para la implementación del sensor de temperatura y nivel, se modificó la olla marmita, adaptando su estructura y componentes internos para integrar los dispositivos de medición. Las modificaciones realizadas fueron detalladas en el software AutoCAD, donde se visualizan las

opciones de diseño seleccionadas. Estas opciones incluyen la ubicación estratégica del sensor TMR 35, así como los ajustes necesarios para el montaje adecuado de las conexiones eléctricas y de fluido. El diseño final, que se evidencia en la Figura 4. 2, asegura la operación óptima para el control automático de la temperatura del producto.

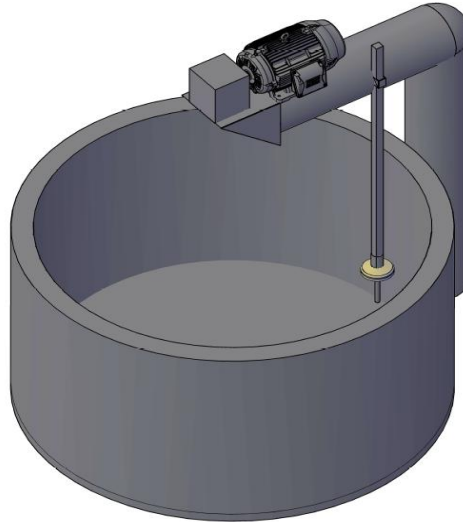


Figura 4. 2 Adaptaciones en la Marmitta.

La adaptación se encuentra en ese lugar porque entre la paletas agitadoras y la pared de la marmitta existe 15 cm de espacio por lo tanto de toma como referencia la mitad de este y proceder a ubicación de esta.

Materiales empleados en la modificación de la marmitta:

- Tubo de grado alimenticio A304 de 6 milímetros por 1 metro.
- Tubo de grado alimenticio A304 de 9 milímetros por 5 centímetros.

La siguiente Figura 4. 3, presenta la medida del diámetro interno y externo de la marmitta:

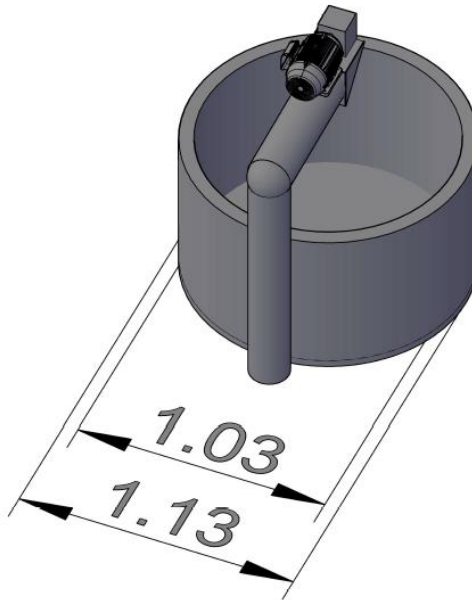


Figura 4. 3 Diámetro Interno y externo de la marmita.

A continuación, la Figura 4. 4, muestran las medidas de la altura de la olla y del brazo.

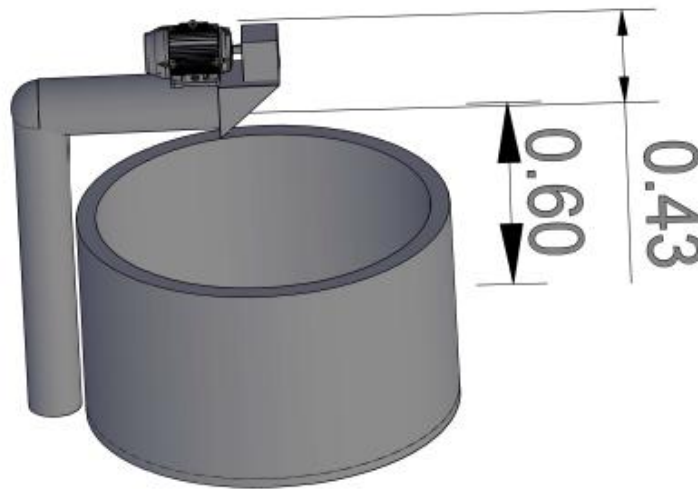


Figura 4. 4 Altura y brazo de la olla.

4.3. Instrumentos de medición

Donde se garantice la precisión y eficiencia para la toma de datos, donde se emplearon dispositivos para las mediciones para la verificación y el ajuste de los factores eléctricos y el parámetro de tiempo, para asegurar el funcionamiento adecuados del sistema automatizado.

4.3.1. Cronómetro

Para la toma de datos durante el proceso de automatización, se empleó un cronometro con el propósito de registrar y comparar los tiempos de operación tanto en el proceso manual y el automático. Es este el instrumento que permitió analizar la deducción en los tiempo para la reducción del tiempo en cada una de las etapas de la pasteurización, desde el aumento y el descenso de la temperatura. Debido a esta medición es donde se hace posible verificar la optimización de los tiempos de respuesta del sistema automatizado.

4.3.2. Pinza amperimétrica

La pinza amperimétrica se utiliza para tomar medidas de corriente eléctrica sin tener la necesidad de interrumpir el circuito, lo que nos permite monitorear el consumo de corriente del sistema, para asegurar el control adecuado del motor y de los demás elementos eléctricos. Este instrumento es primordial para poder verificar si eficiencia e identificar posibles irregularidades del flujo de corriente que puedan afectar el rendimiento del proceso.

4.3.3. Termómetro

El termómetro digital se utilizó para medir la temperatura de manera precisa durante el proceso. Este instrumento es el que permite controlar de forma precisa las temperaturas durante el calentamiento y el enfriamiento, para asegurar que se cumplan cada parámetro establecido para que el proceso sea eficiente.

4.4. Matriz de variables

En la matriz es donde se muestran cada variable dependiente e independiente que están presentes en la automatización. Ya que estas son primordiales para el control y monitoreo correcto del proceso, para garantizar su eficiencia.

4.4.1. Variables independientes

Es donde se exponen las variables que están presentes o relacionas en el proceso de pasteurización, donde se muestran las variables de entrada y salida, su rango, la señal y el dispositivo que se utilizó para las mediciones. Los componentes y materiales serán detallados en la Tabla 5.

Tabla 5: Variables Independientes.

Variables Independientes del Sistema Automático en el Proceso						
Detalle	Tipo	Variable Entrada	Variables Salida	Rango	Señal	Dispositivo
Sistema automatizado de pasteurización de leche	Digitales	Selector On-Off	Voltaje	0 a 110 V		Voltímetro
		Paro Emergencia	Voltaje	0 a 110 V		Voltímetro
		Bajo Nivel	Voltaje	0 a 5 V		Voltímetro
		Alto Nivel	Voltaje	0 a 5 V		Voltímetro
		Pantalla HMI KINCO	Electroválvula V1	0 a 110 V		Voltímetro
			Electroválvula V2	0 a 110 V		Voltímetro
	Motor Reductor AC		0 a 100 %		Tacómetro	
	Analógicas	Temperatura	°C	0 a 100 °C	HMI	Termómetro
	Analógicas	Nivel	Centímetros	0 a 54 cm.	HMI	Ultrasónico

4.4.2. Variables dependientes

Se describen las variables dependientes que corresponden a la categoría, indicadores, el rango, así como también técnicas e instrumentos utilizados para la medición, estos se encuentran especificados en la Tabla 6.

Tabla 6: Variables Dependientes.

Variables Dependientes: Optimizar el tiempo en la producción					
Detalle	Categoría	Indicador	Rango	Técnica	Instrumento
Optimizar el tiempo en proceso	Tiempo	Tiempo de pasteurización	Minutos	Medición	Contador de tiempo

4.5. Materiales

Para el desarrollo del proyecto es importante contar con los materiales de estudio como son los instrumentos para medir, software para programar y simular. En cuanto a la automatización del proceso, se debe disponer de los componentes que se utilizarán, así como el PLC, la HMI, los actuadores y los sensores. Es crucial saber el estado actual de la Industria para identificar variables y procesos que participan, los cuales tienen que ser controlados durante la configuración y programación del desarrollo del proyecto.

4.5.1. Controlador lógico programable

A través de la Tabla 7, se muestra la comparación entre los distintos PLC de diversas empresas fabricantes y características disponibles en el mercado. Esta comparación se realiza en función de consideraciones técnicas clave, tales como la cantidad de entradas y salidas, el voltaje al que debe alimentarse, los protocolos para comunicarse y la afinidad con módulos de expansión. Con base en estos criterios, se podrá seleccionar el PLC más adecuado para la automatización del proceso en la Industria de lácteos TIOLAC.

Tabla 7: Tipos de Controladores Lógicos Programables.

Tipo	Voltaje de alimentación	Tipos de entradas	Tipos de salidas	Módulos y Protocolos	Precio
Siemens S7 1200 CPU 1212C	120VAC	8 Digitales- 24VDC 2 Analógicas de Voltaje	6DO-24VDC Tipo Relé	Modbus Profinet	\$ 450
Schneider Electric	100-240 VAC	14 Digitales 24VDC	10 DO salidas tipo relés	Profinet Profibus Modbus	\$ 325

PLC Mitsubishi FX3U-24MR	100- 240 V DC 24V	6 canales de entrada analógica	2 canales salida analógica	Ethernet	\$ 135
---	----------------------	-----------------------------------	-------------------------------	----------	--------

Se optó por el PLC Siemens S7-1200 debido a su alta eficiencia, flexibilidad en la integración de módulos de expansión y sus avanzadas capacidades de comunicación, lo que lo hace ideal para la automatización del proceso en la industria TIOLAC.

La Tabla 8, presentan las entradas y salidas, tanto digitales como analógicos:

Tabla 8: Entradas y Salidas Requeridas.

Entradas	Analógicas	Sensor de temperatura
		Sensor de nivel
	Digitales	Pulsador bomba ON
		Pulsador bomba OFF
		Pulsador mezcladora ON
		Pulsador mezcladora OFF
		Selector válvula 1
		Selector válvula 2
		Selector M/A
Salidas	Digitales	Bomba de agua
		Motor reductor
		Electroválvula 1
		Electroválvula 2

4.5.2. PLC SIEMENS S7-1200

El controlador S7-1200 ofrece la potencia necesarias para poder controlar una variedad de dispositivos de distintas funciones de automatización. Gracias a su diseño y sus formas de configuración, hace que este PLC sea el ideal para aplicar para el control. El CPU posee un microprocesador, tiene comunicación tipo PROFINET integrado, Entradas y salidas de control de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo está conformada por un potente controlador. Una vez que se carga el programa en el CPU, posee la lógica para vigilar entradas y activa el estado de las salidas según la programación del usuario, tienen temporización y también puede comunicarse con otros dispositivos de programación [27].

Con la Figura 4. 5, se puede visualizar al PLC Siemens S7 1200 1212C, el cual va a ser utilizado para la aplicación de la automatización.



Figura 4. 5 PLC Siemens S7 1200 1212C [27].

La Tabla 9, muestra las características de las entradas y salidas analógicas, así como también corriente y voltaje del PLC S7-1200 1212C:

Tabla 9: Características generales del PLC Siemens S7-1200 1212C [27].

Ítems	Características
Modelo	S7 – 1200 1212C
Rango de Voltaje de Funcionamiento	Límite inferior 85 V Límite superior 264 V
Entradas Digitales	8 canales, 24 V con DC
Salidas Digitales	6 canales de entrada analógica, 2 A, 30 W con DC, 200 W con AC
Entradas Analógicas	2 canales, 0 a +10V
Sensores Compatibles	2 Hilos
Temperatura de funcionamiento	-18 °C ~ + 55 °C

4.5.3. Interfaz Hombre Máquina

Con las HMI disponibles en el mercado ecuatoriano, se llevó a cabo una comparativa tomando en cuenta aspectos como conectividad, funciones, compatibilidad y los protocolos de comunicación y tomando como referencia desde el punto económico. La Tabla 10, se presenta dicha comparativa para la selección de la HMI. Ya que esta debe tener el mismo protocolo de comunicación que el

PLC, para que la red sea eficiente y permita el intercambio de datos, para que nos permita monitorear y controlar el sistema automatizado en el proceso.

Tabla 10: Tipos de Pantallas HMI .

Marca	Dimensión de la pantalla (pulgadas)	Voltaje de alimentación	Memoria	Protocolos y Compatibilidad	Precio
KINCO GL070E	7	24 V DC 3,6 W	128 MB NAND Flash Memory + 128MB. DDR3 Memory	RS232/RS422; RS232 Ethernet	\$ 175
SAMKOON HMI TOUCH COLOR	4,3	24 V DC (+/-15%)	128 MB Flash + 32 MB RAM	Profibus Modbus Serial	\$ 260
SIMATIC KTP600 Basic color	5,7	24 V DC	128 MB Flash + 32 MB RAM	Profinet Modbus	\$ 700

Por el bajo costo y su compatibilidad con el PLC se realiza la selección de la pantalla HMI de la marca Kinco GL070E, esta pantalla nos permitirá monitorear las temperaturas al momento de que se conecte con el PLC, la comunicación con el PLC es por medio de Ethernet, tiene una amplia memoria y el tamaño es el adecuado para visualizar los procesos como se evidencia en la Figura 4.

6:



Figura 4. 6 HMI Kinco Green Series GL070E .

➤ **Características del HMI Kinco Green Series GL070E**

- Pantalla 7 "
- Resolución 800 px
- Display color 16,7M color
- Almacenamiento 128MB NAND Flash Memory + 128 MB DDR3 Memory
- Comunicación RS232 / RS485 / RS422 con protocolo MODBUS-RTU
- Rango de voltaje de entrada 24 V DC, 3.6 W

4.5.4. Sensor de temperatura

Es un sistema diseñado para captar variaciones de temperatura en líquidos, aire u otros entornos ambientales. En la práctica, existe una amplia variedad de sensores de temperatura, cada uno adecuado para aplicaciones específicas. En la Tabla 11, se muestran varios sensores que se utilizan en la industria de la automatización , donde se analiza las características y poder seleccionar el adecuado para el proceso de automatización.

Tabla 11: Sensores.

Tipo	Temperatura nominal	Linealidad	Características	Costo
Termocupla	-200 - 1600 °C	Media	Construidas con níquel, cobre o platino	5 a 100\$
Termistor	-15 - 115 °C	No Lineal	Dependencia de la temperatura	1 a 50\$
Termo compacto TMR 35 (RTD)	-50 - 200°C	Muy alta	Exactitud en la automatización industrial	100 a 300\$
Termómetro de Mercurio	-10 - 300 °C	Estable	Capacidad de medir temperaturas con precisión.	10 a 50\$

Con las características necesarias para la automatización, se selecciona el sensor de temperatura de tipo RTD, el cual se distingue por la precisión y la estabilidad de medición. Este sensor es ideal para la aplicación, ya que ofrece una gama nominal adecuada para el proceso de pasteurización y garantizar las mediciones confiables, directamente en contacto con el a medir sin comprometer de ninguna manera la calidad del producto.

➤ **Sensor termo compacto TMR 35**

El sensor de temperatura seleccionado para la automatización en la industria láctea TIOLAC es una unidad compacta y de diseño duradero, que está hecho completamente de acero inoxidable, asegurando la durabilidad y la resistencia en un ambiente de trabajo exigente. El tiempo de reacción es rápido, lo que permite el control preciso de la temperatura a pesar de que el termo compacto es de inserción corta. Es un transmisor de 3 hilos, para una salida analógica de corriente de 4 a 20 mA. Lo que facilita su integración en los sistemas de automatización. El termo compacto está incorporado por un sistema para el diagnóstico de fallas referente a la norma NAMUR NE43, el cual detecta ruptura o cortocircuitos del sensor, así mejorando la seguridad para operar. Cumple con un diseño sanitario cumpliendo los estándares 3-A y EHEDG, garantizando que es admisible para los procesos alimentarios y este posee certificación marítima, esto hace que sea de calidad y confiabilidad en aplicaciones industriales forzosas [28].



Figura 4. 7 Sensor de Temperatura TMR 35.

➤ **Características Técnicas**

En la Tabla 12, se presentan las características técnicas y sanitarias del sensor TMR 35:

Tabla 12: Características Técnicas del Sensor TMR 35.

Característica	Especificación
Principio de Medida	RTD
Material del Termo pozo	Acero Inox
Diámetro del Tubo de Protección	3,0 mm (0,12") o 6,0 mm (0,24")
Rango de Temperatura	-200 °C a 850 °C
Forma de la Punta	redonda
Aspereza de la Superficie Ra	0,4 μm (16 μin) o 0,8 μm (32 μin)
Precisión	Clase A según IEC 60751
Tiempo de Respuesta	t ₅₀ = 1 s, t ₉₀ = 2 s
Máx. Presión de Proceso	100 bar (1.450 psi) a 20 °C
Integración del Transmisor	No (señal de 4 a 20 mA)
Certificaciones	3A (higiene), Certificación para aplicaciones marinas UL 3111-1, EAC

Para garantizar que el proceso no contamine la leche, resulta muy útil el acero A304, un material de calidad alimentaria. Conocido por su resistencia a la corrosión y facilidad de limpieza, previene acumulación de desechos y proliferación bacteriana. Además, contará con la certificación 3A, un estándar internacional que garantiza que los equipos en contacto con alimentos. Cumple estrictos requisitos de higiene y seguridad. Estas medidas, así como el diseño desde del sistema, garantizando que la leche se mantenga en óptimas condiciones y libre de contaminantes durante todo el proceso.

4.5.5. Sensor de nivel

Es un dispositivo electrónico diseñado para medir la altura de un líquido en un recipiente o tanque. Estos sensores se pueden clasificar en dos tipos principales. Los primeros corresponden a los sensores de nivel puntual, que detectan un nivel específico y generan una salida digital, normalmente utilizada para disparar alarmas en niveles altos o bajos; El segundo tipo son los sensores de nivel continuo, que permiten una medición más precisa en todo el rango del sistema, generando una salida analógica proporcional al nivel del líquido en el depósito. Con base en estos conceptos, es posible seleccionar el sensor más adecuado para la automatización del proceso. Con la Tabla 13, presenta la comparación de los diferentes sensores de nivel disponibles.

Tabla 13: Tipos de sensores de nivel.

Tipo	Rango de medida	Precisión	Característica	Costo
Radar	0~2,5m	+/- 0,3% ~ +/- 1,5%	Fuente radiactiva, todo tipo de tanques	Alto
U-GAGE S18 U	0,3 ~30 cm	+/- 0,5%	En todo tipo de	Alto
Sensor de nivel HW 103	0-0,2m	+/- 0,05%	Alta precisión	Bajo

➤ **Sensor de nivel de leche, U-GAGE™ S18 U**

Está disponible con cables de 2 m o 9 m, así como con un conector rápido M12 de 5 pines. Además, tiene opciones de velocidad de respuesta de 2.5 ms o 30 ms. Cabe destacar que el U-GAGE™ S18U no está diseñado para la protección de personal, ya que carece de circuitos redundantes de autocomprobación [29].

Las características del sensor van a estar detallados con la Tabla 14:

Tabla 14: Descripción del sensor de nivel de leche – LV Max Sonar

Característica	Descripción
Modelo	U-GAGE™ S18U
Tipo de sensor	Ultrasónico
Rango de Detección	30 mm a 300 mm
Protección	IP67
Temperatura de operación	-20 °C a +60 °C
Salidas analógicas	0 a10 V DC 4 a 20 mA
Configuración	Modo TEACH
Indicadores	LED para estado de operación
Compensación de temperatura	Sí
Opciones de conexión	Cables de 2 m o 9 m / Conector rápido M12 de 5 pines
Temperatura de operación	-40°C a 65°C

Velocidad de respuesta	2.5 ms o 30 ms
Seguridad	No apto para protección personal



Figura 4. 8 Sensor de Nivel U-GAGE™ S18U

4.5.6. Electroválvula para agua

Para el ingreso de agua, se seleccionaron electroválvulas considerando factores como los elementos de fabricación, la marca y el voltaje de operación, así como también su disponibilidad en el mercado de Ecuador. Estos dispositivos permitirán un control eficiente del flujo de agua dentro del proceso automatizado. En la Tabla 15, se presentan las opciones evaluadas, facilitando la elección de la más adecuada para el sistema.

Tabla 15: Tipo y Material de Electroválvulas.

Materiales	Marcas	Tipo de alimentación	Especificación cumplida	Precio
Hierro	Red Hat	120 V AC	Nema	\$ 65
Cu, Al, latón	CNC 2L123-20	120 V AC	Nema	\$ 55
Acero Inoxidable	Darhor	120 V AC	ISO-9001	\$ 85

Para la elección de electroválvulas encargada de regular el suministro de agua, se optó por el modelo CNC 2L123-20. Esta electroválvula, fabricada en cobre, resulta ideal para el proceso debido a su alta resistencia y durabilidad. Además, posee un rango de temperatura de trabajo que va desde los -10 °C hasta los + 50 °C. Con la Figura 4. 9, se observa este modelo de electroválvula.

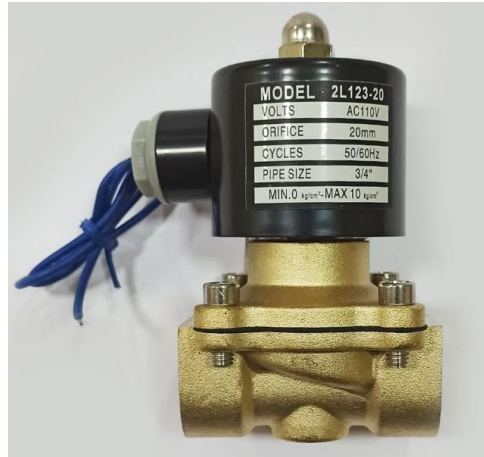


Figura 4. 9 Modelo CNC 2L123-20.

La Tabla 16, se evidencia las características técnicas de la electroválvula de On - Off.

Tabla 16: Características técnicas (electroválvula)

Características	G 3/4"
Presión de funcionamiento	150 PSI
Temperatura	0 a 60 °C
Material del cuerpo	Cobre
Voltaje de alimentación	120 V AC
Tipo	Electroválvulas de 2 vías

La electroválvula que se utiliza en el proyecto de automatizar es una válvula On – Off.

4.5.7. Electroválvula de vapor STNC

Una muestra de la válvula que se utiliza es la Figura 4. 10:



Figura 4. 10 Electroválvula de vapor STNC.

Las características de la electroválvula serán detalladas en la siguiente Tabla 17:

Tabla 17: Características de la electroválvula de vapor STNC.

Características	Descripción
Modelo	STNC
Temperatura fluido	+75°C - +185°C
Temperatura ambiente	-15°C - +70°C
Material cuerpo	(CW617N EN 12165)
Material piloto	acero inoxidable
Material del cierre	PTFE
Material del cierre principal del piloto y de la membrana	PTFE
Grado de protección	IP 65 (con conector)

La electroválvula que se utiliza cumple con la normativa y la protección para el trabajo con el vapor.

4.5.8. Motor agitador

El motor agitador es un dispositivo utilizado para mezclar líquidos y garantizar una homogeneización efectiva en distintos entornos industriales y de laboratorio. Equipado con un eje y una paleta, genera movimiento en el líquido, permitiendo una mezcla uniforme. Muchos modelos ofrecen la posibilidad de ajustar la velocidad de agitación según las necesidades del proceso.

Diseñado para ser resistente y duradero, está fabricado con materiales capaces de soportar la exposición a productos químicos. Además, se encuentra disponible en diversos tamaños para

adaptarse a diferentes tipos de recipientes. Su uso es fundamental en laboratorios, la industria alimentaria, el tratamiento de aguas y el sector farmacéutico, donde contribuye a la eficiencia y calidad de múltiples procesos.

En la Tabla 18 y Tabla 19, se presenta la ficha técnica del motorreductor y la del motor.

Tabla 18: Ficha Técnica Motorreductor.

Característica	Especificación
Tipo de reductor	BOX050
Relación de reducción (i)	1:50
Brida de entrada	B14
Frecuencia de operación (Hz)	60
Velocidad de arranque (rpm)	33.6
Factor de servicio en Nm 64.2	1.1
Código del reductor	B5050251471B4

Tabla 19: Ficha Técnica del Motor.

Característica	Especificación
Tipo de motor	DELPHI 71B
Número de polos	4
Código del motor	718-4814
Versión	Standard
Clase de eficiencia	IE2
Protección	IP 55
Velocidad nominal (rpm)	1676.4
Velocidad de sincronismo (rpm)	1800

Potencia (kW)	0.37
Frecuencia (Hz)	60
Tensión (V)	260/440V
Ángulo de montaje del motor	0°
Ángulo de montaje del borne	0°
Configuración	B14
Altitud máxima de operación	1000 m s.n.m
Nivel de calentamiento ΔT	61°C
Características del motor	Aluminio
Bobinados tropicalizados	Standard
Rodamiento DE	6202-ZZ C3
Rodamiento NDE	6202-ZZ C3

4.5.9. Paletas agitadoras

Las paletas agitadoras son herramientas utilizadas para la mezcla y homogenización de líquidos en laboratorios e industrias. Están fabricadas con materiales como plástico o acero inoxidable y se presentan en diversas formas y tamaños para adaptarse a distintos tipos de recipientes. Su uso es común en laboratorios químicos, farmacéuticos y de biotecnología, así como en la industria de alimentación y en el tratamiento de aguas, donde garantizan una mezcla uniforme y eficiente de soluciones e ingredientes.

4.5.10. Ensamble del sistema mecánico

Respecto a la selección de materiales mecánicos, se llevó a cabo un proceso para desarrollar y construir la estructura del sistema. Se optó por el acero inoxidable A304, reconocido por sus amplios usos de las industrias química y alimentaria.

4.6. Esquema Eléctrico

Un esquema trata de un dibujo simplificado en el que distintos elementos eléctricos del circuito se encuentran representados mediante símbolos normalizados.

4.6.1. Esquema de Control y Mando

Un esquema eléctrico en el que un controlador lógico programable (PLC) ocupa una posición central. Este PLC está vinculado a diversos dispositivos de entrada, como sensores e interruptores, los cuales envían señales relacionadas con el estado de un proceso. Asimismo, se conecta a dispositivos de salida, como relés y motores, que son controlados de acuerdo con la lógica previamente programada. Las conexiones eléctricas están representadas por líneas rojas y negras, donde las rojas suelen indicar alimentación. Además, en el diagrama se incluyen símbolos eléctricos que representan contactos normalmente abiertos (NO) y cerrados (NC). Este tipo de esquema resulta fundamental en la automatización industrial, ya que permite comprender las interacciones del sistema.

Con la Figura 4. 11, presenta el diagrama de conexiones de entradas digitales y analógicas. Para una mejor visualización de la conexión de entradas digitales y analógicas dirigirse al **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se ubicó las conexiones individualmente.

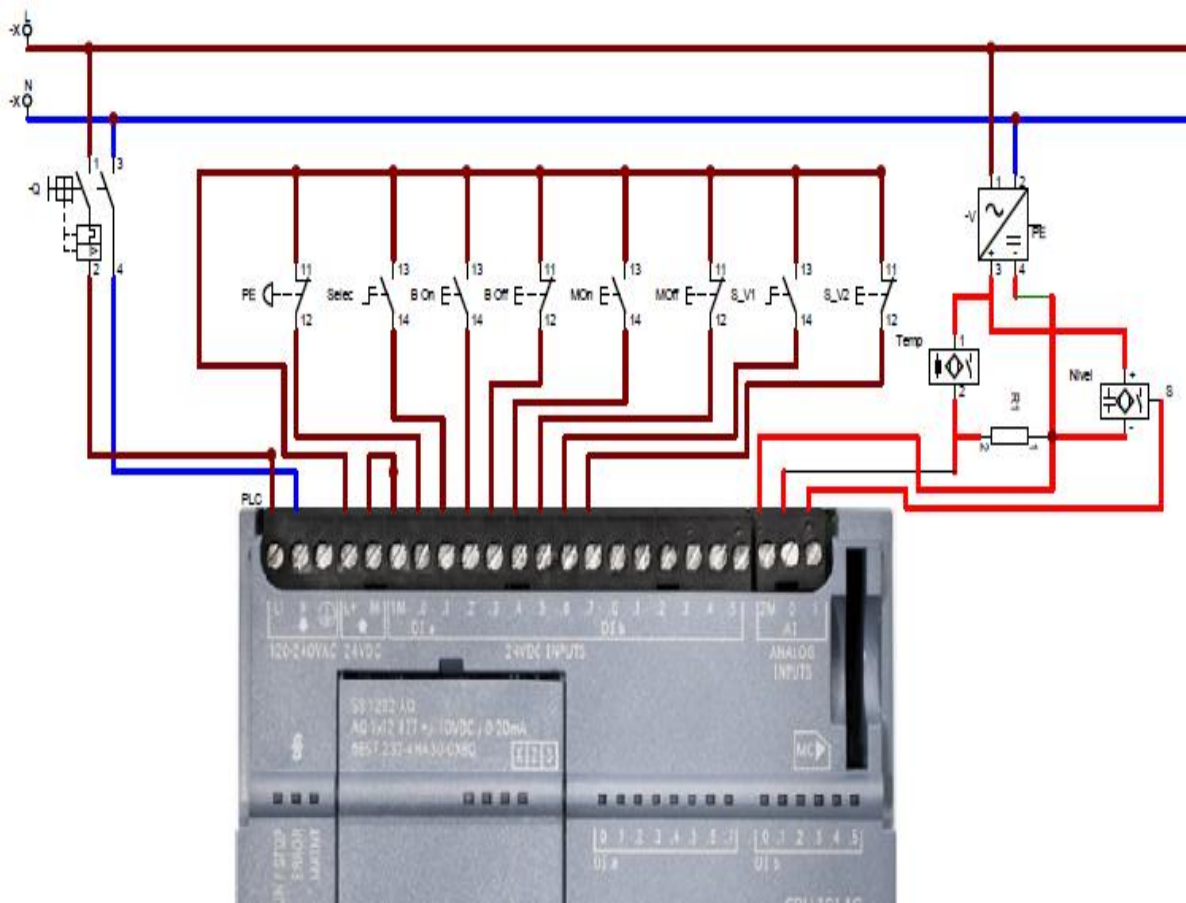


Figura 4. 11 Conexión entradas digitales y analógicas.

En la Tabla 20, se detallan los nombres y las funciones de las entradas salidas y digitales.

Tabla 20 Nomenclatura Entradas Digitales.

Nombre	Función
PE	Paro de Emergencia
Selec	Selector Automático - Manual
B On	Encendido de la bomba de agua
B Off	Apagado bomba de agua
MO n	Encendido de válvula del agitador
MO ff	Apagado de válvula del agitador
S_V1	Selector Off – On valvula agua
S_V2	Selector Off – On valvula vapor
Temp	Transmisor de Temperatura
Nivel	Transmisor de nivel
-V	Fuente de alimentación 24V AC/DC 12V

La conexión de salidas digitales se muestra en la siguiente Figura 4. 12:

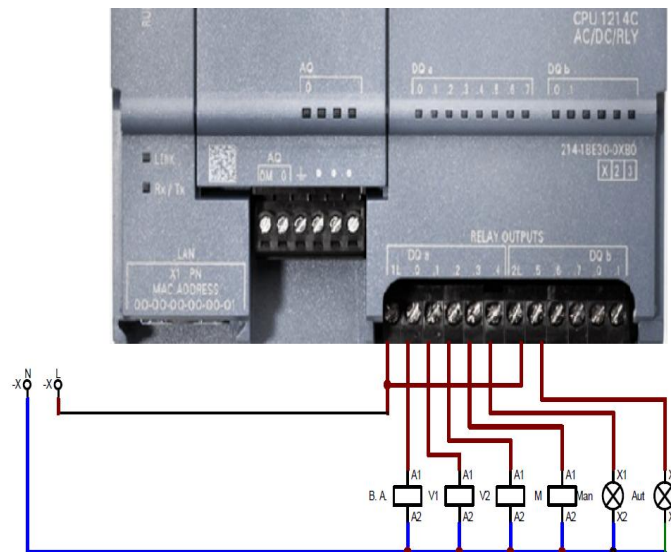


Figura 4. 12 Conexión DE Salidas Digitales

La siguiente Tabla 21, se detalla cada nombre y la función que realiza las entradas salidas y digitales.

Tabla 21: Nomenclatura salidas digitales.

Nombre	Detalle
B.A	Bobina bomba de agua
V1	Bobina válvula de agua
V2	Bobina válvula de vapor
M	Bobina Mezcladora
Man	Luz Manual
Aut	Luz Automático

4.6.2. Esquema de fuerza

Un esquema eléctrico de fuerza muestra cómo se conectan y distribuyen los diferentes elementos dentro de un circuito de potencia. En él se representan las fuentes de energía, como generadores y transformadores, junto con las cargas que la consumen, como motores, luminarias y otros dispositivos eléctricos.

Los conductores marcan el camino por donde circula la corriente, mientras que los sistemas de protección, como fusibles e interruptores, desempeñan un papel clave en la seguridad del sistema.

Además, se incluyen dispositivos de control que permiten regular su funcionamiento de manera eficiente. Este tipo de esquema no solo es fundamental para garantizar la seguridad de una instalación eléctrica, sino también para facilitar su mantenimiento y asegurar que se cumplan las normativas activas. Su correcta interpretación es indispensable para técnicos e ingenieros, quienes deben comprender cada detalle para prevenir fallos y optimizar el rendimiento del sistema.

Las conexiones para cada elemento actuador se presentan en la Figura 4. 13:

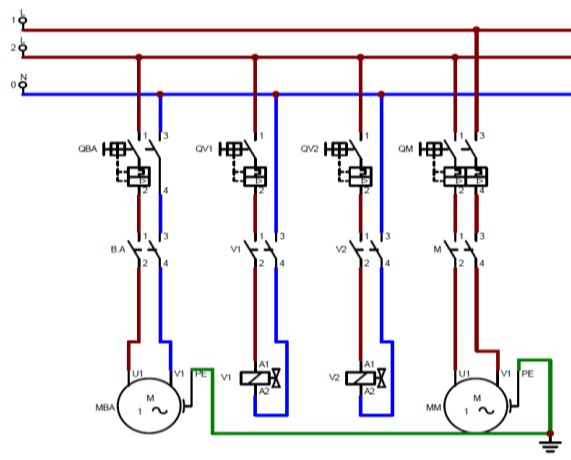


Figura 4. 13 Diagrama Eléctrico de Fuerza.

La nomenclatura de los actuadores será presentada en la Tabla 22:

Tabla 22: Nomenclatura de los actuadores.

Nombre	Detalle
QBA	Interruptor termomagnético bomba de agua
QV1	Interruptor termomagnético válvula de agua
QV2	Interruptor termomagnético válvula de vapor
QM	Interruptor termomagnético mezcladora
B.A	Contacto bomba de agua
V1	Contacto válvula de agua
V2	Contacto válvula de vapor
M	Contacto mezcladora
MBA	Motor bomba de agua
V1	Válvula de agua
V2	Válvula de vapor
MM	Motor mezcladora

4.7. Diagrama P&ID

Diagramas P&ID del sistema completo en la Figura 4. 14, con simbología de la norma ANSI/ISA-5.1-2009:

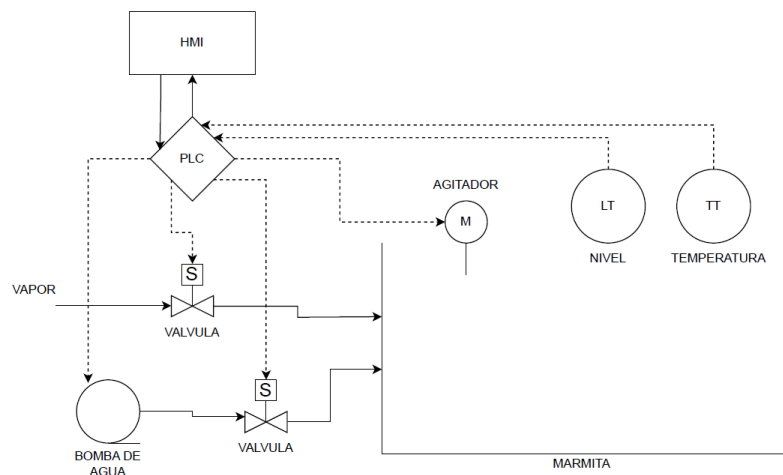


Figura 4. 14 Diagrama P & ID completo.

Diagrama P&ID de actuadores y sensores en la Figura 4. 15, con simbología de la norma ANSI/ISA-5.1-2009:

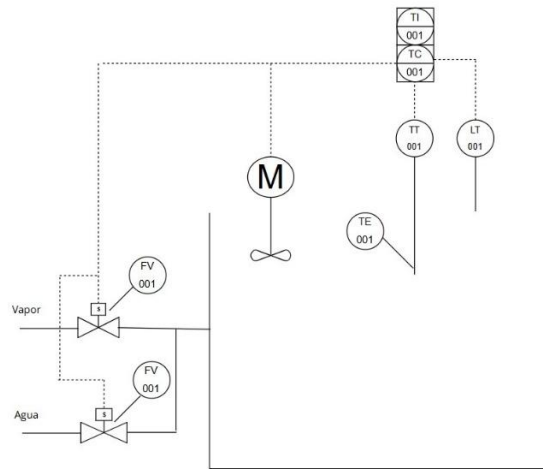


Figura 4. 15 Diagrama P & ID, actuadores y sensores.

4.8. Software de programación

El software es la parte lógica e intangible sistema de un TIC, donde incluyen componentes esenciales para llevar a cabo tareas específicas. El software de programación abarca todos los programas, procedimientos que son primordiales para las operaciones de un sistema computacional [30].

4.8.1. Software de Kinco

En la Figura 4. 16, se presenta la interfaz del software Kinco DTools, la cual creo la industria de Kinco para configuración y programación de sus HMI, ya que la misma es compatible con una gran cantidad de PLC, los protocolos de Kinco son libres o como dicen gratuitos. Es didáctico para el usuario, por motivo que es una interfaz sencilla solo basta con arrastrar y soltar cada objeto directamente en la pantalla

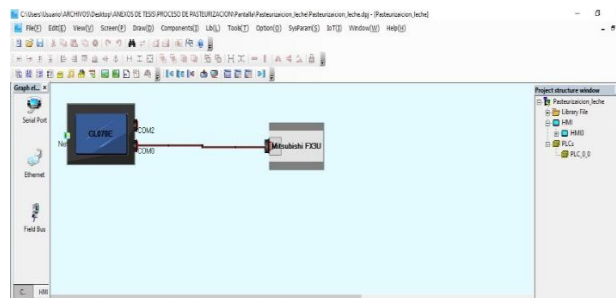


Figura 4. 16 Software Kinco Dtools.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realiza la programación de la HMI y PLC, para posteriormente analizar los datos de la automatización.

5.1. Programación HMI con el software Kinco DTools

Es el software de programación y configuración que se utiliza principalmente para automatizaciones industriales, porque permite la programación gráfica, así como también simulaciones y pruebas.

5.1.1. Configuración de la HMI

Conexión entre el PLC y la HMI por medio de Ethernet y la configuración de la pantalla.

➤ Conexión HMI con el PLC.

PLC

IP: 192.168.0.3

HMI

IP: 192.168.0.10

Sub Mascara: 255 255 255 0

Antes de realizar la configuración de la pantalla Kinco se revisa la dirección IP como en la Figura 5. 1 y Sub Mascara, para poder conectarse con el PLC de la Siemens, es la misma configuración de conexión que se realiza en el PLC. Para visualizar la conexión se debe dar doble click izquierdo en cada uno de los elementos a conectar el enlace entre el PLC y la HMI es de tipo Profinet.

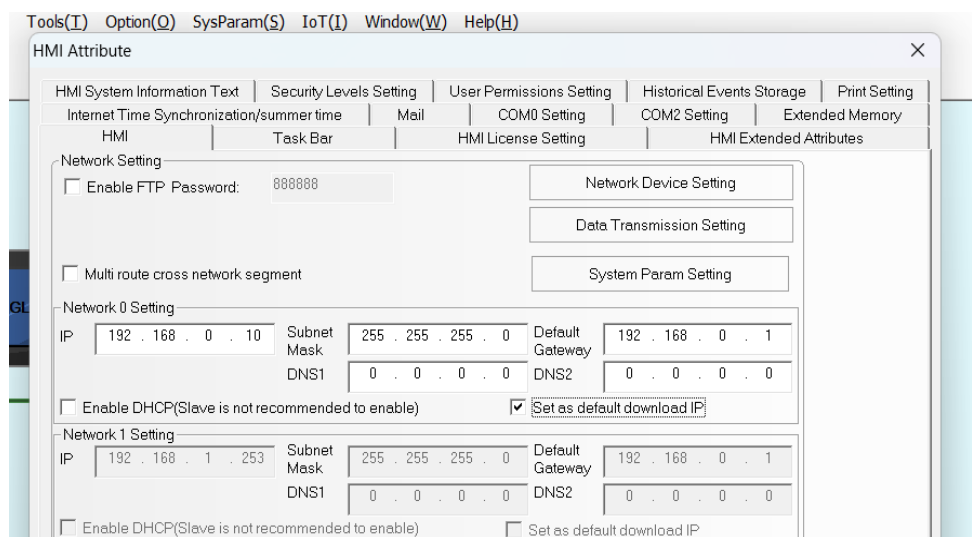


Figura 5. 1 IP y Sub Mascara de la HMI.

Con la Figura 5. 2, se evidencia el IP del PLC y el puerto que usa para la comunicación.

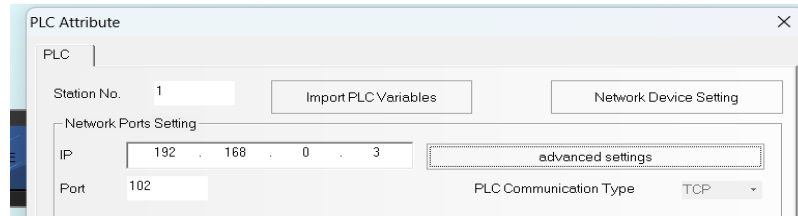


Figura 5. 2 IP y Puerto del PLC.

En la siguiente Figura 5. 3, se evidencia la configuración de las alertas en la pantalla donde se destina una dirección de salida Q y a su vez con la dirección 0.3.

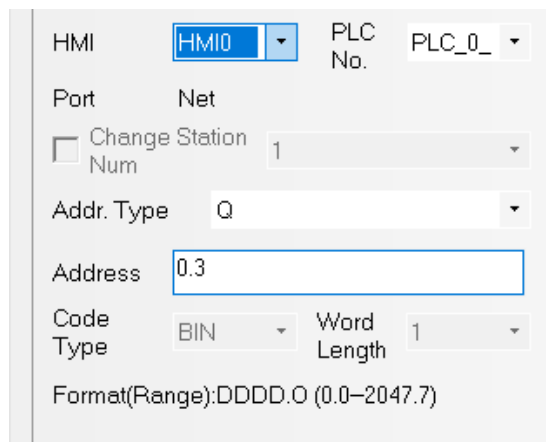


Figura 5. 3 Configuración alerta en la pantalla.

Para la configuración de la salida de la temperatura se utiliza una memoria de marca la cual almacena presenta datos temporales y por ende los datos de temperatura, la dirección es de tipo M y con la dirección 32. Se presenta la Figura 5. 4, con la configuración:

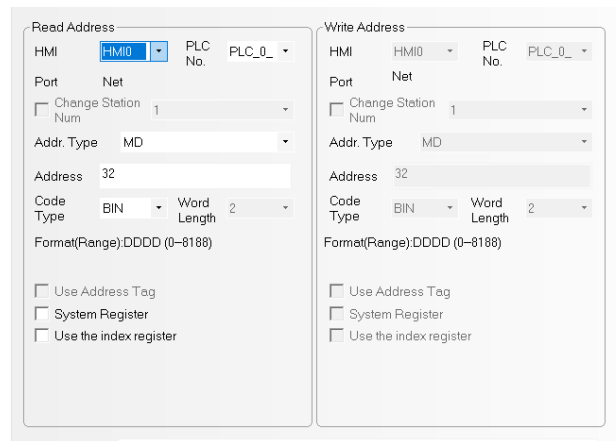


Figura 5. 4 Configuración salida de la temperatura en la pantalla.

Con la Figura 5. 3 y Figura 5. 4, son las configuraciones de las señales a recibir la pantalla.

La configuración es la misma que las anteriores con la diferencia de que estas es una señal de mando se tiene que insertar la señal en el apartado de escritura de dirección, en donde se escoge la dirección de memoria de marca (M), y su respectiva salida.

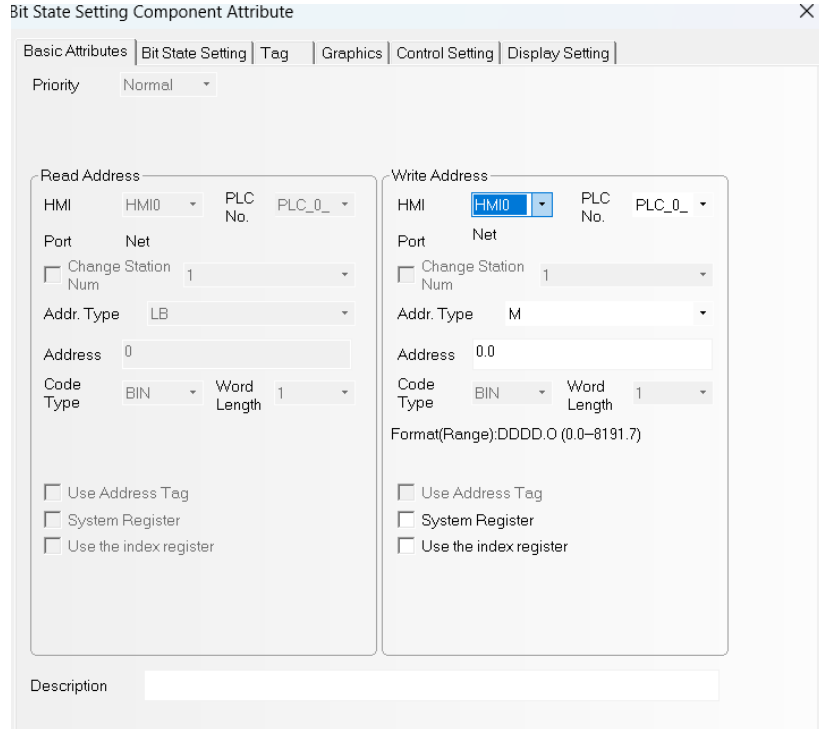


Figura 5. 5 Mandos desde la Pantalla.

La son las salidas o escritura de salida, para las diferentes acciones que se quiere realizar.

A continuación, la Figura 5. 6, se muestra la configuración de la pantalla HMI.

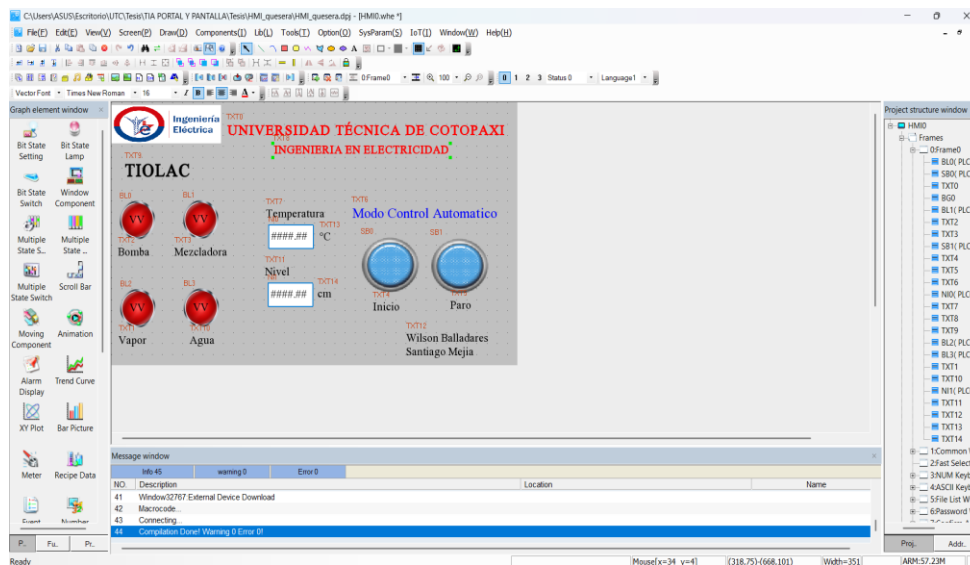


Figura 5. 6 Configuración de la Pantalla.

Con la Figura 5. 7, se evidencia la configuración de cómo va a quedar al momento de finalizar.



Figura 5. 7 Simulación Después de Haber Configurado.

5.1.2. Software TIA PORTAL

TIA Portal es un software que nos permite programar los PLC de la marca Siemens, ofreciendo una interfaz intuitiva y versátil. Permite la programación en varios lenguajes, incluyendo el lenguaje LADDER, y cuenta con una amplias instrucciones que cubren funciones tanto básicas como avanzadas, facilitando así el proceso de programación. La Figura 5. 9, presenta una captura de la interfaz de programación.

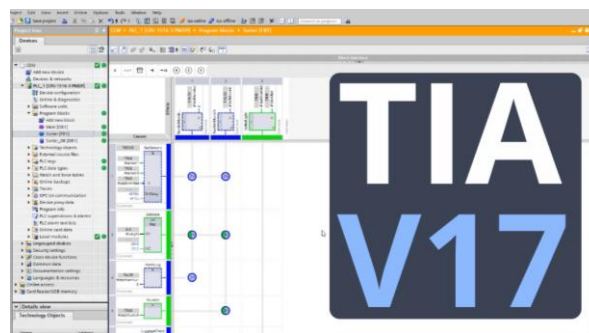


Figura 5. 8 Software de Programación.

El TIA Portal proporciona la creación y programación de bloques de funciones personalizados, ofreciendo una extensa variedad de herramientas para la configuración de sistemas. Además, incluye un modo de simulador que permite probar todas las funciones antes de implementarlas en

el entorno real, lo que facilita la verificación y validación de la programación sin necesidad de ejecutar el proceso físico.

En la Figura 5. 9, se realiza la programación por medio de bloques:

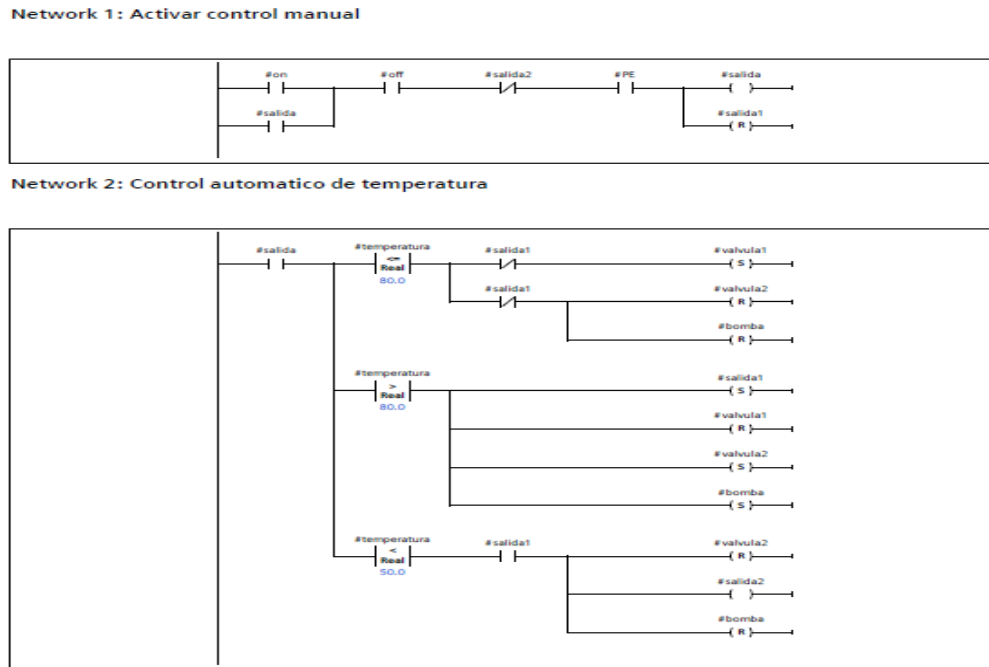


Figura 5. 9 Programación por bloques TIA Portal.

La programación del proceso de pasteurización se encuentra en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

5.2. Análisis de resultados

Se llevó a cabo el estudio de la automatización del proceso en la Industria láctea TIOLAC, logrando resultados positivos. Gracias a la automatización, se redujo los tiempos de pasteurización y se optimizó el control de los parámetros clave, lo que permitió obtener un producto de mejor calidad de manera más eficiente. Esta automatización no solo mejoró el proceso, sino que también brindó mayor estabilidad y confiabilidad en cada etapa de la producción.

5.2.1. Elección de materiales

En esta sección, se muestran los resultados relacionados para la elección de materiales para la automatización, así como su adecuada operación. Con la Tabla 23, detallan los materiales elegidos que permitirán optimizar este proceso, garantizando así la calidad y seguridad del producto final.

Tabla 23: Materiales elegidos.

Materiales elegidos		
Materiales	Tipo	Cantidad
Electroválvulas	On/Off	2
Sensor de temperatura	TMR35	1
Transmisor de Nivel	U-GAGE™ S18U	1
PLC Siemens	S7-1200 1212C	1
HMI Kinco	GL070E	1
Fuente	Victoria – 24 VDC	1
Contactores	LS MC-9b	3

5.2.2. Comparación de temperatura entre sensor y termómetro manual

Para la medición de la temperatura, se implementó un sistema de adquisición de datos que produce una señal analógica de entrada. Esta señal fue calibrada utilizando instrumentos de medición de alta precisión. Las pruebas iniciales se realizan con agua, a una temperatura estándar de 30 grados Celsius, validando los resultados tanto con un medidor manual en la marmita como con los datos mostrados en la interfaz del PLC, lo que garantiza la exactitud de las lecturas, tal cual la Figura 5. 10 y Figura 5. 11:



Figura 5. 10 Temperatura del Termómetro 30 °C.



Figura 5. 11 Temperatura Sensor 30 °C.

Se realizaron mediciones a una temperatura elevada con el fin de crear una tabla para comparar entre los datos del termómetro manual y el sensor automático. Se presenta esta comparación del termómetro y el sensor a una temperatura de manera aleatoria. Para este estudio, se seleccionó la temperatura de 30 °C, y se tomaron datos en pasos de 10 °C, hasta alcanzar los 80 °C , estas se presentan con la Figura 5. 12 y Figura 5. 13:

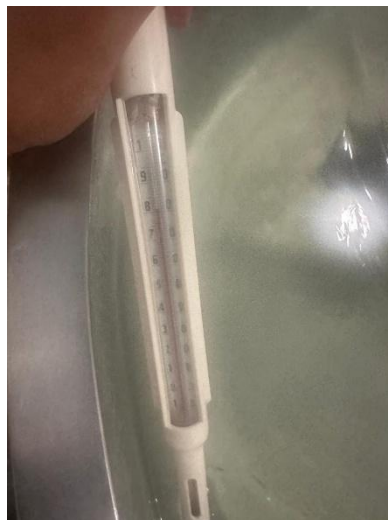


Figura 5. 12 Temperatura del Termómetro a 80 °C.



Figura 5. 13 Temperatura del sensor a 80 °C.

La Tabla 24, se evidencia dos registros de temperatura: el registrado con el termómetro manual, tomado directamente por el operador y el obtenido a través del sensor TMR35, utilizado en la automatización. Además, calculo la desviación estándar entre el termómetro manual y entre el sensor TMR3, para analizar la variabilidad de las mediciones.

Tabla 24: Comparación de temperaturas del termómetro , el sensor de temperatura e instrumento de medición.

Paso	Temperatura Manual (°C)	Temperatura Automática - TMR35 (°C)
1	15	14,97
2	20	20,04
3	30	30,97
4	40	40,19
5	50	49,99
6	60	60,17
7	70	70,36
8	80	79,97
9	85	85
10	75	74,95
11	65	65,03

La desviación estándar permite entender qué tanto fluctúan los valores con respecto a la comparativa de los dos sensores, ayudando a evaluar la precisión y confiabilidad de cada método. Los resultados del estudio se detallan en la Tabla 25.

Tabla 25: Desviación Estándar entre TMR35 y Termómetro.

Desviación estándar	
TMR35 – Termómetro manual	Temperatura
0,015	10 °C
0,02	20 °C
0,485	30 °C
0,095	40 °C
0,005	50 °C
0,085	60 °C
0,18	70 °C
0,015	80 °C
0	85 °C
0,025	75 °C
0,015	65 °C

En la Figura 5. 14, se muestra la desviación en pasos de 1 a 12, donde se debe considerar el paso 1 inicial como 15°C y el paso 2 como 20°C. Cada paso tendrá como referencia una temperatura en incrementos de 10°C.

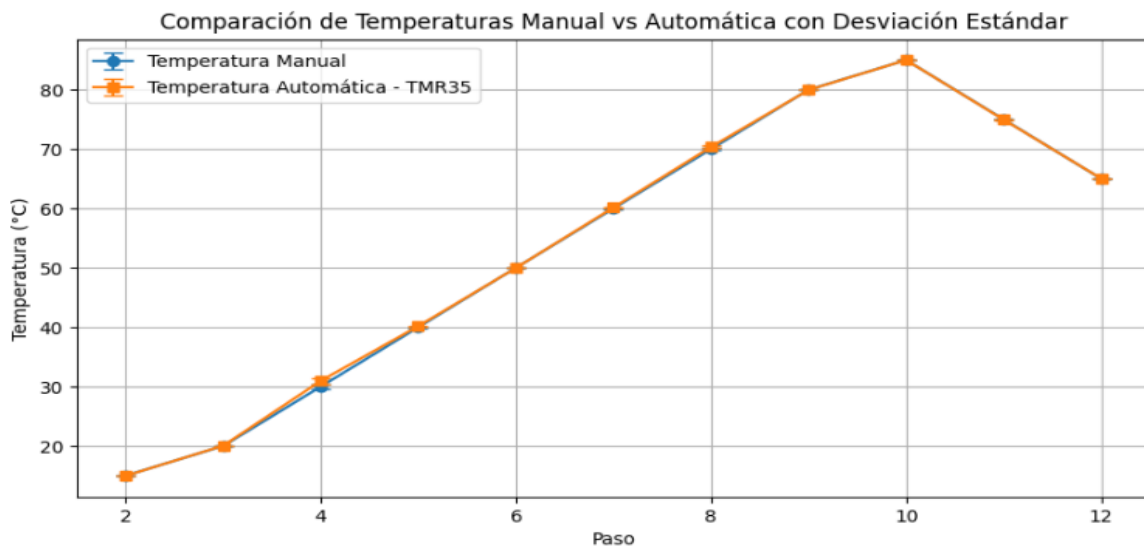


Figura 5. 14 Desviación Estándar entre Sensor y Termómetro.

Analizando la desviación estándar entre el termómetro manual y el sensor TMR35, se observa que este último presentó una menor desviación, lo que indica mediciones más consistentes y con menos variabilidad en comparación con el termómetro manual. En consecuencia, el sensor TMR35 demuestra ser una opción más precisa y confiable para la automatización del proceso. Un análisis más detallado se puede ver en la siguiente Figura 5. 15, de comparación hecha en Python, cuyos detalles serán denotados dentro del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

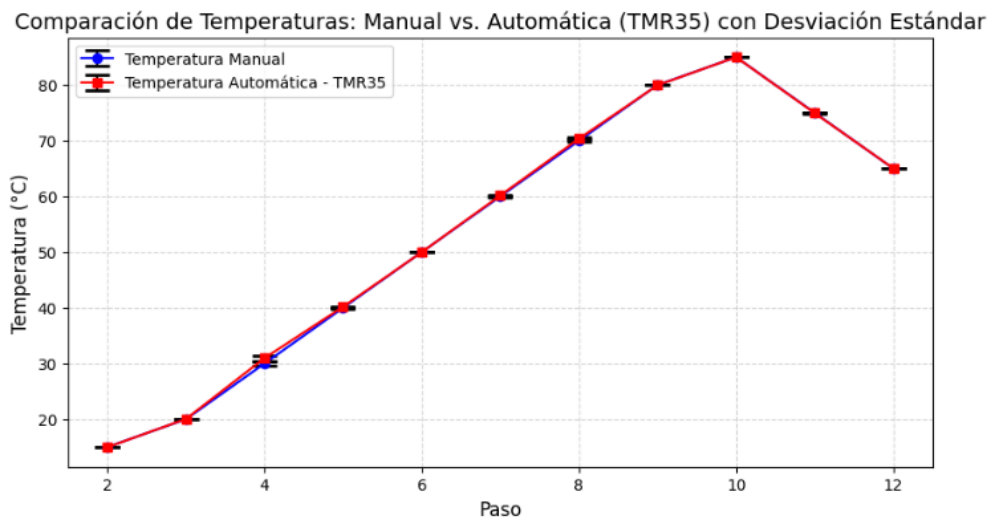


Figura 5. 15 Comparación de Temperaturas.

5.2.3. Análisis de Nivel

Para la medición del nivel en la olla marmita, se implementó un sensor para la obtención de datos basado en una señal analógica de entrada. La calibración se realizó mediante pruebas con distintos niveles de líquido, utilizando referencias visuales previamente empleadas en el proceso manual. Las pruebas iniciales se realizaron con agua para verificar el correcto funcionamiento del sistema. Posteriormente, los datos fueron integrados a la interfaz del PLC, permitiendo una representación más organizada y accesible de las mediciones en tiempo real.

El control del ingreso de leche por ciclo de producción en la olla se logra mediante el cálculo de sus dimensiones para determinar el volumen en litros. El proceso es importante para asegurar que la olla pueda contener el volumen adecuado de producto en cada ciclo de producción.

Con una altura de 0,54 m y con un diámetro de 1.03 m, las dimensiones de la olla permiten alcanzar un volumen de aproximadamente 450 litros. Estas medidas cumplen para asegurar que el volumen de la olla se mantenga dentro de los parámetros necesarios para el ciclo de producción.

$$V = \pi * r^2 * h \quad (1)$$

Donde :

V =Volumen en litros

r = radio de la olla

h =altura de la olla

$$V = \pi * (5.15)^2 * (5.4)$$

$$V = 3.1416 * 26.5225 * 5.4$$

$$V = 450 \text{ litros}$$

Además, se solicitó a la empresa el acceso a las guías de recepción de leche. Y una de las guías se evidencia en la Figura 5. 16, lo que permite conocer el volumen diario de ingreso de materia prima.

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se encuentran las guías.

TIOLAC
Sector La Lechera
Celular: 0995740054 / 0992584281

GUÍA DE REMISIÓN Nº. 00000380

PROVEEDOR: René Cocha

LITROS DE LECHE: 1850

FECHA: 16-12-2024

Firma Autorizada Recibí Conforme

Figura 5. 16 Guía de Remisión.

A partir de estos registros, se elaboró un análisis de las cantidades recibidas en distintos periodos. En la Tabla 26, se presenta un promedio del ingreso de leche en un periodo determinado, lo que permite evaluar la estabilidad del suministro y su relación con la capacidad de la marmita.

Tabla 26: Cantidad de Ingreso de Leche.

Semana	Fecha	Ingreso de Leche (L)
1	16-dic-24	1850
2	23-dic-24	1950
3	02-ene-25	2103
4	09-ene-25	1945

Se realiza el cálculo del promedio de la cantidad de ingreso de leche, la cual se determina con la ecuación (2):

$$PROMEDIO = \frac{\sum(DATOS)}{Número\ de\ datos} \quad (2)$$

$$PROMEDIO = \frac{1850 + 1950 + 2103 + 1945}{4}$$

$$PROMEDIO = \frac{7848}{4}$$

$$PROMEDIO = 1962\ lt$$

Cómo se puede evidenciar, el promedio de los datos de ingreso de leche es de 1962 Lt, reflejando la tendencia general del flujo de leche en el sistema durante el período analizado.

5.2.4. Análisis de beneficio de la automatización

Se lleva a cabo un análisis de las ventajas de automatizar el proceso en TIOLAC. Este sistema optimiza las condiciones laborales para el operador, eliminando tareas que requieren esfuerzo físico, y proporciona lecturas de temperatura más precisas, así como una mezcla más uniforme. Otros beneficios se detallan en la siguiente Tabla 27:

Tabla 27: Beneficios de la automatización.

	Actividad	Manual	Automatizado
Pasteurización	Medición de Temperatura	Se emplea un termómetro de mercurio, con lecturas realizadas manualmente según la percepción del operador.	Utiliza un sensor termo compacto TMR obtener lecturas continuas y precisas.
	Control del Calentado	Activación manual de válvulas mecánicas, lo que representa un riesgo para la salud del operario.	Controlado por electroválvulas, aumentando la seguridad y evitando el contacto directo o indirecto con tuberías calientes
	Control del Enfriado	Activación manual de válvulas de agua.	Controlado por electroválvulas, mejorando la eficiencia del proceso.
	Agitación	Agitación manual con una paleta, que requiere esfuerzo físico continuo y no garantiza una mezcla uniforme	Agitación automatizada por medio de un motor agitador para asegurar una mezcla homogénea.
	Gestión del Tiempo	Uso de un cronómetro e intuición del operario para el control del proceso.	Funciones integradas en el sistema de control que permiten ingresar y confirmar el tiempo con precisión.

La justificación referente a la tabla de beneficios de la automatización se encuentra con la Tabla 32 y Tabla 33, donde se indican los procesos y el tiempo que se involucra el personal.

5.2.5. Análisis de tiempo en el proceso

Cada etapa del proceso en la Industria de Lácteos TIOLAC requiere reducir el tiempo específico, lo que significa que es necesaria la intervención de un operario para completar estas fases. Con la Tabla 28, se puede observar el proceso actual.

Tabla 28: Análisis de Tiempo del proceso de pasteurización.

Proceso	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Observaciones
Pasteurización	40 a 45	35 a 85	El operario interviene durante todo el proceso que consiste en controlar el calentamiento y previo a esto se procede a enfriar hasta los 65 °C.

El operario participa en cada etapa del proceso, realizando tareas que requieren un esfuerzo físico considerable. Además, su constante manipulación de la materia prima genera un riesgo potencial y representa una pérdida de tiempo para la fábrica, ya que se requiere dedicar mucho tiempo a supervisar y controlar cada fase del proceso.

5.3. Resultados

Al realizar el método manual, se requiere que el operador este presente en tiempo completo en la zona de trabajo. Esto limita su capacidad para realizar otras tareas y puede resultar en un alto tiempo de trabajo y una baja producción para la fábrica.

Dado que no hay suficiente personal y toma mucho tiempo para manejar estos sistemas, se optó por automatizar esta estación de trabajo para evitar demoras y cumpliendo las condiciones de producción.

El método tradicional de pasteurización, la temperatura se mide manualmente, lo que requiere introducir un termómetro en el producto. Esto plantea la posibilidad de errores humanos, lo que puede obligar a realizar ajustes para alcanzar la temperatura adecuada. Este procedimiento también puede facilitar la entrada de contaminantes en la mezcla, incluso cuando el operario se esfuerza por mantener el termómetro limpio y está atento para prevenir cualquier tipo de contaminación.

5.3.1. Tiempo de proceso que requiere la pasteurización de leche

En la industria TIOLAC, el proceso se realiza de manera manual, con tiempos estimados que se detallan en la Tabla 29. Este método requiere aproximadamente 1 hora y 49 minutos. Durante este

tiempo, el operario mezcla el producto con una paleta y mide la temperatura de forma invasiva con un termómetro entre 6 y 7 veces, hasta alcanzar los 85 °C.

Para enfriar la leche, se asignan 35 minutos para bajar la temperatura a 35 °C, lo que marca el final del proceso. Es importante notar que este trabajo puede volverse repetitivo lo que significa que el operario pasa mucho tiempo enfocado en el proceso de la pasteurización. Además, debe estar constantemente alerta, manejando válvulas, supervisando la temperatura y agitando el producto, lo que añade un nivel de complejidad y esfuerzo a su labor diaria.

Tabla 29: Tiempo de trabajo manual.

Tiempo de trabajo del operador en la industria de lácteos TIOLAC						
Tiempos del operador en la industria de lácteos TIOLAC proceso manual						
Actividades	Intervención del Personal	Detalle	N.º veces	Tiempo (Min)	Total, (Min)	Métodos
Ingreso de materia prima	Si	Leche	1	3	3	Cronómetros
Preparar la marmita	Si	Limpieza de la marmita	1	15	15	Cronómetros
Operación de válvulas tipo esfera	Si	Ingreso agua	2	2,1	4,2	Cronómetros
Ingreso de leche	Si	Introducción de leche en la marmita	1	3	3	Cronómetros
Caldero	Si	Encender caldero	1	1	1	Cronómetros
Calentamiento de leche	Si	Calentamiento de leche a 85°C,	1	48	48	Termómetros cronómetros
		Medición invasiva de temperatura	5	1	5	
		Agitación	5	0,25	1,25	

Choque térmico	Si	Enfriamiento de leche a 60°C	1	34	34	
		Medición intrusiva de temperatura	3	1	3	Termómetro cronómetro
Total, Manual					117.45	

Hasta este punto, el análisis se ha centrado en un solo ciclo del proceso de pasteurización. Sin embargo, con el propósito de evaluar el efecto real de esta metodología en los trabajos diarios, se presenta un segundo análisis que toma en cuenta la totalidad de los ciclos realizados durante un día completo de trabajo. Los datos que se obtienen de este análisis están detallados en la Tabla 30, donde se presentan las mediciones correspondientes a los seis ciclos de pasteurización realizados durante la jornada. En cada periodo se incluyen las temperaturas registradas, los tiempos de pasteurización y enfriamiento, y otras variables relevantes durante el proceso. Este análisis permite ver cómo varían las mediciones a lo largo de la jornada y evaluar la consistencia y eficiencia del proceso de pasteurización en función de los diferentes ciclos, lo que nos permite tener una visión completa del tiempo total invertido en la pasteurización manual y su impacto en la productividad global del proceso.

Tabla 30: Procesos y Ciclos.

PROCESO MANUAL	Ciclo 1 (07:00 - 08:40)	Ciclo 2 (08:40 - 10:20)	Ciclo 3 (10:20 - 12:00)	Ciclo 4 (12:00 - 13:40)	Ciclo 5 (13:40 - 15:20)	Ciclo 6 (15:20 - 17:00)
Ingreso materia prima	3,1	3	3,15	3,05	3,2	3,1
Limpieza de la marmita	12	12,50	14	13	12,60	15
Abrir válvulas de ingreso de agua	5,4	5,2	5,5	5,3	5,4	5,25

Colocación de leche en la marmita	3,05	3,1	3	3,1	3	3,05
Encender el caldero	1	0	0	0	0	0
Calentamiento	44,5	45,1	44,3	45	45,2	44,4
Medición 1	5	5,2	5,15	5,05	5,1	5
Agitación	1,5	2	1,55	1,45	1,5	1,55
Enfriamiento	34,45	35,1	34,3	35	34,5	35,2
Medición 2	3,15	3,05	3,2	3,1	3	3,05

La Tabla 31, se observa el promedio de tiempo empleado durante todo el día en los diferentes ciclos de proceso, así como la desviación estándar entre los procesos. Con este análisis permite evaluar la varianza de los tiempos de operación por ciclo y determinar el proceso a lo largo del día dando así una visión más clara sobre la eficiencia y la estabilidad operativa.

Tabla 31: Promedios y Desviaciones Estándar.

Promedio	Desviación Estándar
3,1	0,065
13,18	0,233
5,342	0,102
3,05	0,041
0,167	0,373
44,75	0,359
5,083	0,075
1,592	0,186
34,758	0,352
3,092	0,067

En el proceso automático, el operador ya no necesita dedicar tiempo completo a la manipulación constante de los dispositivos, como se muestra en la Tabla 32. Esta automatización mejora la eficiencia del sistema y también permite al operario enfocarse en otras tareas importantes. De esta

forma se optimiza el tiempo y se potencia la productividad general haciendo que el trabajo sea más fluido.

Tabla 32: Tiempo de trabajo automático.

Tiempos de trabajo automatizado en la Industria de Lácteos TIOLAC						
Proceso Automático						
Actividad	Personal	Descripción	N. veces	Tiempo Min	Total, Min	Método
Ingreso de materia prima	Si	Leche	1	3	3	Cronómetro
Preparar la marmita	Si	Limpieza de la marmita	1	2,25	2,25	Cronómetro
Operación de válvulas tipo esfera	No	Ingreso agua	0	0	0	HMI/PLC
Ingreso de leche	Si	Introducción de leche en la marmita	1	2	2	Cronómetro
Caldero	No	Encender caldero	0	0	0	HMI/PLC
Calentamiento de leche	No	Calentamiento de leche a 85°C,	1	26.34	26.34	HMI/PLC
		Medición invasiva de temperatura	0	0	0	
		Agitación	0	0	0	
Choque térmico	No	Enfriamiento de leche a 60°C	1	13.11	13.11	HMI/PLC
		Medición intrusiva de temperatura	0	0	0	
Total, Automático					46.07	

El análisis se ha centrado en un ciclo del proceso automatizado. Sin embargo, con la finalidad de diferenciar el impacto de la operatividad diaria, se presenta un segundo estudio de tiempos de los ciclos realizados durante un día completo de trabajo en el proceso automatizado. Los datos de este análisis se muestran en la Tabla 33, muchos de los procesos están marcados como cero, ya que el proceso se realiza de manera automatizada, eliminando la intervención manual en la mayoría de las etapas. Los tiempos registrados corresponden exclusivamente al tiempo que se demora en calentar y enfriar el producto, así como al tiempo necesario para la introducir del producto en la marmita, y estos son los momentos en los que se requiere intervención, lo que facilita obtener una perspectiva más extensa sobre el tiempo total invertido en el proceso automatizado y cómo este afecta la productividad general del sistema.

Tabla 33: Procesos Automáticos y Ciclos.

PROCESO AUTOMÁTICO	Ciclo 1 (07:00 - 08:40)	Ciclo 2 (08:40 - 10:20)	Ciclo 3 (10:20 - 12:00)	Ciclo 4 (12:00 - 13:40)	Ciclo 5 (13:40 - 15:20)	Ciclo 6 (15:20 - 17:00)
Ingreso materia prima	3,1	3,15	3,05	3	3,2	3,05
Limpieza de la marmita	2,20	2	2,17	2,14	2	2,25
Abrir válvulas de ingreso de agua	0	0	0	0	0	0
Colocación de leche en la marmita	3	3,15	3,2	2,4	3	3,05
Encender el caldero	0	0	0	0	0	0
Calentamiento	25,52	25,48	26,10	26,04	25,54	26
Medición 1	0	0	0	0	0	0
Agitación	0	0	0	0	0	0
Enfriamiento	12,50	13	12,55	12,47	12,52	13,7
Medición 2	0	0	0	0	0	0

La Tabla 34, muestra el promedio y desviación estándar de los datos anteriormente mostrados. Como podemos notar, la desviación estándar es menor en comparación con el proceso que se realiza de manera manual, lo que se debe a que el proceso automatizado resulta ser más eficiente para los operadores. Al reducir su carga de trabajo, los operadores pueden utilizar su tiempo en otras tareas, lo que genera una menor variación en los tiempos de cada uno de los ciclos y por lo tanto una mayor estabilidad en los procesos.

Tabla 34: Promedios y Desviaciones Estándar del Proceso Automático.

Promedio	Desviación Estándar
3,025	0,038
2,12	0,199
0	0
3,033	0,037
0	0
25,78	0,416
0	0
0	0
12,79	0,321
0	0

Después de realizar la automatización del proceso, se tomaron los tiempos de operación estos son de 1 hora con 57 minutos y 27 segundos por ciclo. Este tiempo de operación ha permitido una significativa reducción en la carga de trabajo del operador, logrando disminuir su tiempo de intervención en un 60,77%, lo que equivale a 1 hora con 10 minutos con 45 segundos. Este tiempo aprovechado por la automatización, puede ser aprovechado para realizar otras actividades dentro de la producción mejorando la eficiencia operativa y tal forma esta optimiza el uso de los recursos disponibles.

También al realizar un análisis detallado de los tiempos de todo el día, sabiendo que estos son de 6 a 5 ciclos, se concluyó que la implementación del sistema automatizado ha permitido una optimización total de 1 hora con 10 minutos y 45 segundos por ciclo. Esta mejora refleja una mayor eficiencia en cada ciclo, sino que también resalta un efecto positivo de la automatización para optimizar procesos a lo largo de toda la jornada, generando un notable incremento en la productividad global de la planta. Con la Figura 5. 17, se visualiza claramente el impacto que

implica la automatización en la reducción de los tiempos por ciclo, evidenciando la mejora lograda tras su implementación.

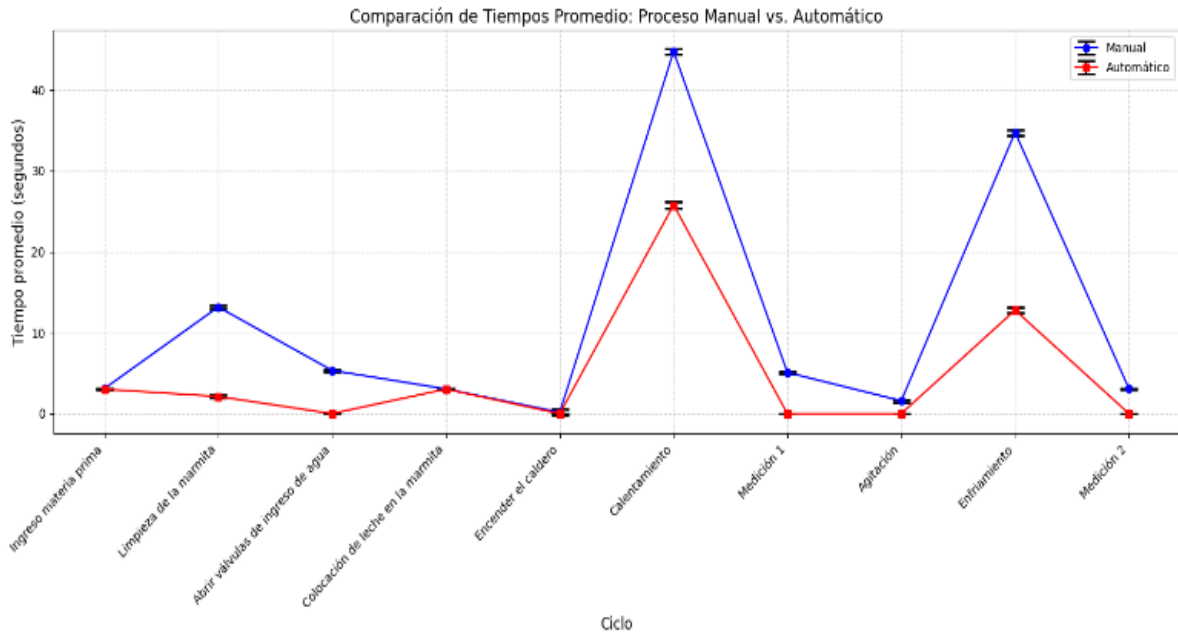


Figura 5. 17 Tiempo de Proceso de Pasteurización.

Para llevar a cabo el cálculo se utiliza la ecuación (3):

$$Eficacia = \left(\frac{\text{Resultado alcanzado}}{\text{Resultado previsto}} \right) * 100\% \quad (3)$$

$$Eficacia = \left(\frac{46.07}{117.45} \right) * 100\%$$

$$Eficacia = 0.3923 * 100\%$$

$$Eficacia = 39.23 \%$$

$$\text{Tiempo de eficacia} = 100\% - 39.23\%$$

$$\text{Tiempo de eficacia} = 60.77\%$$

El tiempo de eficiencia en el proceso es del 60.77%. Este dato indica cómo se ha mejorado la eficiencia en el proceso. Con la Figura 5. 18, se tiene una representación gráfica de los tiempos.

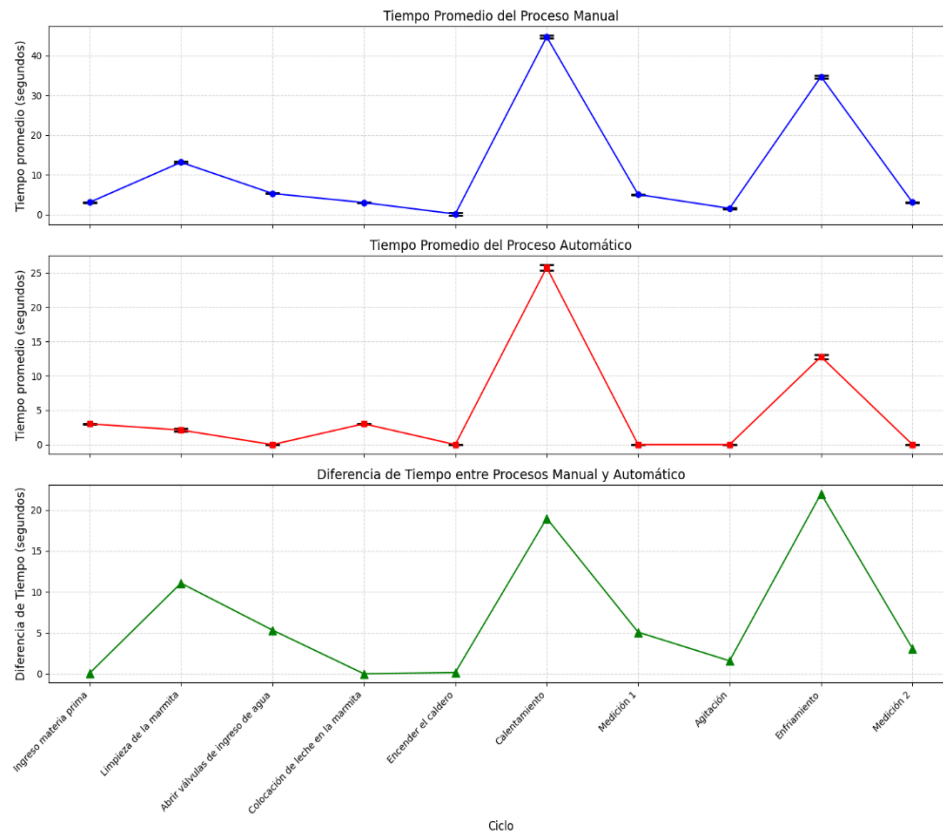


Figura 5. 18 Tiempos de Proceso Manual y Automático.

Al comparar el proceso manual y el automático, puede afirmarse que, el operador solo debe poner en marcha el proceso y ocuparse en otras tareas, como la preparación de moldes o preparación de insumos lácticos. Esto permite reducir tanto el tiempo como los recursos de mano operativa. La Figura 5. 19, se muestra el diseño de un proceso automatizado adecuado para la pasteurización de leche, como etapa previa en la producción de queso fresco.

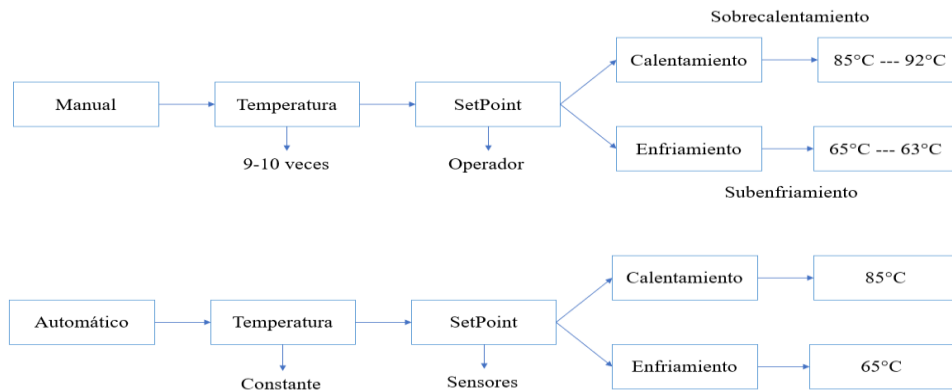


Figura 5. 19 Proceso de Pasteurización para el Queso Fresco.

En el proceso manual para la elaboración del queso fresco, el setpoint dependía del operador, quien medía la temperatura de 9 a 10 veces y debía asegurarse de que alcanzara los 85°C. Sin embargo, cualquier variación en la temperatura representaba una pérdida en la producción, lo que resultaba en una menor cantidad de quesos. Esto se debía a fallos en el calentamiento y a que a menudo se sobrepasaba la temperatura deseada. De igual manera, en el proceso de enfriamiento, el operador tenía que vigilar que la temperatura no sobrepase menos los 30°C, lo que también podía resultar en un enfriamiento inadecuado

Por otro lado, en el proceso automático, un sensor de temperatura toma el control del setpoint, garantizando que la temperatura se mantenga en el rango ideal de forma exacta durante todo el proceso.

La siguiente Figura 5. 20, evidencia el diseño del proceso automatizado para la pasteurización de leche, como etapa previa a la elaboración del queso manaba.

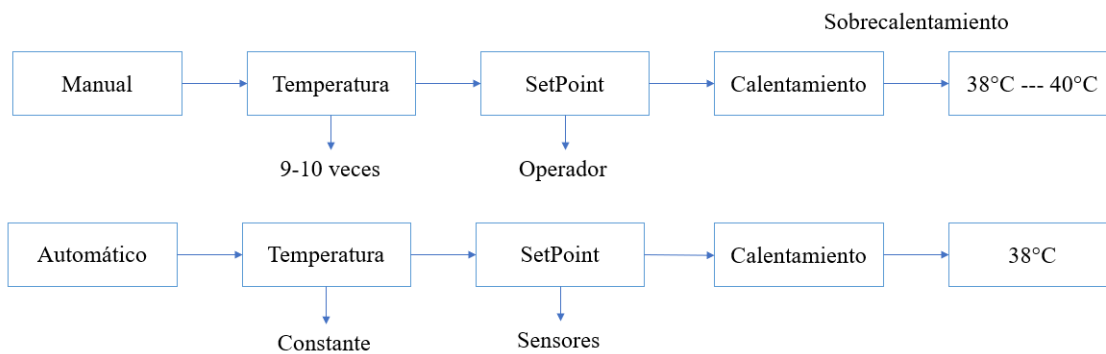


Figura 5. 20 Proceso de Pasteurización para el Queso Manaba.

En el proceso manual para la elaboración del queso manaba, el setpoint dependía del operador, quien medía la temperatura de 9 a 10 veces, y debía asegurarse de que alcanzara los 38°C. Sin embargo, cualquier variación en la temperatura representaba una pérdida en la producción, lo que resultaba en una menor cantidad de quesos. Esto se debía a fallos en el calentamiento y a que a menudo se sobrepasaba la temperatura deseada.

Por otro lado, en el proceso automático, un sensor de temperatura toma el control del setpoint, garantizando que la temperatura se mantenga en el rango ideal de forma exacta durante todo el proceso.

5.3.2. Carga del proceso de automatización

La carga eléctrica en un sistema automatizado de pasteurización es un factor crítico, ya que influye en el consumo energético, la estabilidad del sistema y la eficiencia operativa. En este estudio, se analizará la carga total demandada por los dispositivos utilizados en la automatización, considerando elementos como el PLC, la pantalla HMI Kinco, las electroválvulas y los elementos de calefacción.

➤ Determinación de la potencia eléctrica

La carga eléctrica se define como la potencia total consumida por los dispositivos conectados. Se calcula mediante la ecuación (4):

$$P = V \times I \times \cos(\varphi) \quad (4)$$

Donde:

P = potencia en vatios.

V = tensión de alimentación en voltios.

I = corriente consumida en amperios.

$\cos(\varphi)$ = factor de potencia del sistema.

Tabla 35: Análisis de Cargas.

Dispositivo	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
PLC Siemens S7-1200	110	0.5	55
Fuentes de 24V	110	0.3	33
Electroválvula de vapor	110	0.5	55
Electroválvula de agua	110	0.5	55
Bomba de agua	110	3.8	418
Motor reductor	220	1.5	330

La potencia total ecuación (5), considerando las potencias individuales:

$$P_{total} = \sum potencia (W) \quad (5)$$

$$P_{total} = 55 + 9.6 + 33 + 55 + 55 + 418 + 330$$

$$P_{total} = 955.6 W$$

➤ **Impacto de la carga**

El análisis de carga es fundamental para garantizar que el sistema eléctrico pueda soportar la demanda del proceso sin comprometer el funcionamiento de otros equipos. Para ello, es esencial considerar la capacidad de los conductores utilizados. La Tabla 36, muestra las especificaciones del cable Sucre de 4 hilos en calibre 10 AWG

Tabla 36: Características del Conductor Eléctrico [31].

Característica	Especificación
Tipo de conductor	Cobre
Número de hilos	4
Calibre	10 AWG
Capacidad de corriente	30 A
Aislamiento	PVC
Tensión nominal	600V

El correcto dimensionamiento de los conductores eléctricos es crucial, ya que una inadecuada selección puede provocar caídas de voltaje y sobrecalentamiento. Para la conexión bifásica a 220V, se recomienda el uso de un conductor de 10 AWG para una corriente de 7.1A, asegurando así la estabilidad y seguridad del suministro eléctrico.

➤ **Optimización del Consumo y Seguridad**

La eficiencia energética y la seguridad del sistema eléctrico son factores determinantes en la automatización industrial. Para lograr una gestión óptima del consumo energético y garantizar la estabilidad operativa del proceso de pasteurización

➤ **Automatización del Encendido y Apagado de los Actuadores**

Uno de los principales métodos para reducir el consumo energético en procesos industriales consiste en la automatización del encendido y apagado de los actuadores, siempre y cuando estén dentro y fuera de operación. La regulación automática del funcionamiento de dispositivos como la bomba de agua y las electroválvulas permite que estos operen únicamente cuando el sistema lo requiera, evitando consumos innecesarios y mejorando la eficiencia del proceso.

Tabla 37: Tiempo de Uso

ACCIÓN	TIEMPO Min	MOTOR REDUCTOR 330W (1=On ; 0=Off)	ELECTROVALVULA VAPOR 55W (1=On ; 0=Off)	ELECTROVALVULA AGUA 55W (1=On ; 0=Off)	BOMBA DE AGUA 418 W (1=On ; 0=Off)
Ingreso materia prima	3,025	0	0	0	0
Limpieza de la marmita	2,12	0	0	0	0
Abrir válvulas de ingreso de agua	0	0	0	0	0
Colocación de leche en la marmita	3,033	0	0	0	0
Encender el caldero	0	0	0	0	0
Calentamiento	25,78	1	1	0	0
Medición 1	0	1	1	0	0
Agitación	0	1	1	0	0
Enfriamiento	12,79	1	0	1	1
Medición 2	0	1	0	1	1

La Figura 5. 21, muestra en barras el consumo durante cada una de las acciones que se realiza durante el proceso.

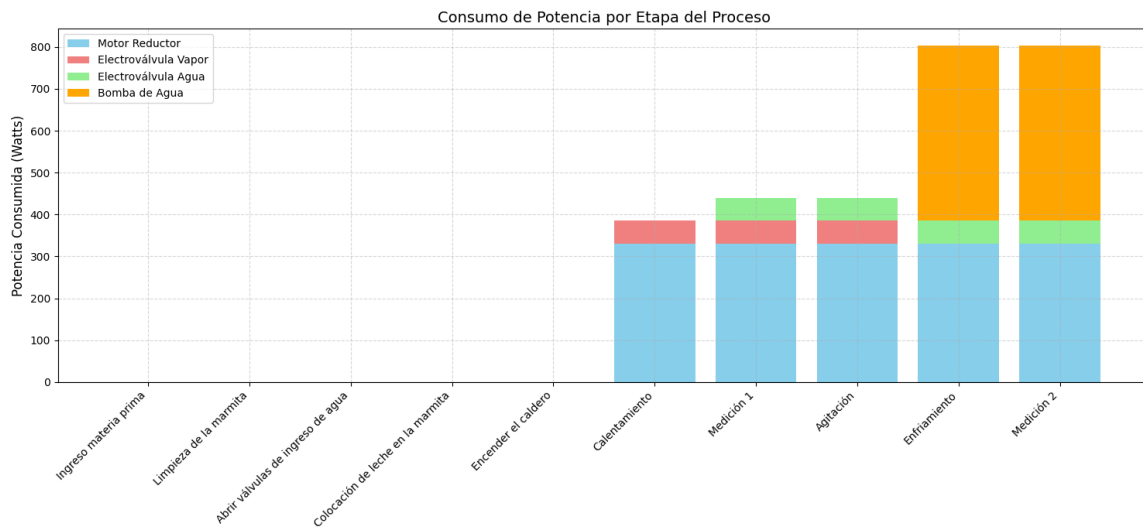


Figura 5. 21 Potencia Consumida Durante Encendido.

Cálculo de consumo energético ecuación (6):

$$Carga (Wh) = potencia (W) * Tiempo(horas) \quad (6)$$

Carga durante el proceso de calentamiento de la leche:

$$Carga calentamiento = 385 W * 0.4296 horas$$

$$Carga calentamiento = 165.396 Wh$$

Carga durante el proceso de enfriamiento de la leche:

$$Carga calentamiento = 803 W * 0.2131 horas$$

$$Carga calentamiento = 171.1193 Wh$$

Carga total durante todo el proceso:

$$Carga total = Carga calentamiento + Carga enfriamiento$$

$$Carga total = 336.5153 Wh$$

En cuanto a los resultados obtenidos, el análisis de las cargas de cada equipo durante el ciclo de pasteurización revela un consumo energético total de aproximadamente 336.5153 Wh por ciclo, lo que nos permite observar la eficiencia energética del proceso. El motor reductor es el componente que más energía consume, debido a su función principal de agitación y transporte de la leche en las distintas fases. No obstante, las electroválvulas y la bomba de agua, con un consumo individual más bajo, también es importante en la regulación del flujo de vapor y agua durante el calentamiento y enfriamiento de la leche. Este análisis ofrece una visión clara del comportamiento energético de los equipos también resalta áreas en las que se podrían aplicar mejoras para optimizar el consumo de energía, lo cual es muy importante para la sostenibilidad y rentabilidad de la industria láctea en el largo plazo.

5.3.3. Análisis económico

El análisis económico de la implementación de la automatización en TIOLAC ha mejorado la eficiencia operativa, como también ha generado impactos económicos para la recuperación del capital que se invirtió. En este análisis se evalúa el costo total de inversión en la automatización, incluyendo la adquisición de equipos y materiales como también los ahorros obtenidos en términos de optimización de tiempos de proceso, análisis del consumo energético y disminución de la intervención del operario.

Para ello, se compararán los costos operativos del proceso manual con los del sistema automatizado, determinando el retorno de inversión (ROI) y el período de recuperación del capital invertido. Además, analizar los costos de un mantenimiento y en el consumo de insumos, lo que permite establecer el beneficio económico neto de la automatización y su contribución a la sostenibilidad financiera de la empresa.

➤ Costos de implementación

Los costos que incluyen para la automatización en la industria de lácteos TIOLAC, se detallan en la siguiente tabla se presenta la cotización y características de cada uno de los elementos adquiridos, detallando su función dentro del proceso y el costo individual. El monto total de inversión en equipos y materiales asciende a \$1,675.44, los mismos que se encuentran detallados en la Tabla 38, lo que representa la base económica sobre la cual se evaluará el retorno de inversión (ROI) y los beneficios generados por la automatización.

Tabla 38: Listado de materiales y precios.

Detalle		Cantidad	Precio (\$)	Precio Total (\$)
CPU 1212C AC/DC/RELE, ALIMENTACION	Unidad	1	450,00	450,00
Pantalla HMI Kinco GLO70E	Unidad	1	175,00	175,00
Sensor temperatura TMR35 RTD	Unidad	1	158,80	158,80
Sensor de nivel U-GAGE	Unidad	1	126,00	126,00
Electroválvula 3/4" npt a 110VCA	Unidad	1	120,00	120,00
Fuente de 24v - Victoria	Unidad	1	98,50	98,50
Electroválvula CNC 3/4" a 110VCA	Unidad	1	43,20	43,20
Contactador LS 9 AMP 110V	Unidad	3	12,80	38,41
Contactador LS 9 AMP 220V	Unidad	1	13,09	13,09
Pulsador Metálico 22mm Verde CAMSCO	Unidad	2	2,03	4,06
Pulsador Metálico 22mm Rojo CAMSCO	Unidad	2	2,03	4,06
Paro de Emergencia C/Retención CAMSCO	Unidad	1	2,32	2,32
Breaker SCHNEIDER Riel Dim 2 polos 10 AMP	Unidad	2	7,97	15,94
Gabinete Metálico Liviano 400*400*200	Unidad	1	41,29	41,29
Riel Dim	Metros	2	1,35	2,71
Breaker LS Riel Dim 1 polo 6 AMP	Unidad	2	3,53	7,05
Breaker SCHNEIDER 1 polo 10 AMP	Unidad	1	3,48	3,48

Terminal Puntera Azul	Paquete	1	2,32	2,32
Conductor 10 AWG	Metros	25	2,54	63,50
Conductor 12 AWG	Metros	35	0,65	22,75
Conductor 18 AWG	Metros	15	0,22	3,30
Conductor 7X1818 AWG	Metros	4	4,80	19,20
Bornera Legrand Neutro 10AWG	Unidad	10	1,90	18,98
Machinadora Para Terminal Puntera 10-22AWG	Unidad	1	20,63	20,63
Terminal Puntera Azul	Unidad	48	0,05	2,32
			Subtotal	1.456,90
			I.V.A	218,54
			Total	1.675,44

➤ **Cálculo del ahorro en costos laborales:**

De acuerdo con la información recopilada, el salario mensual de un operador en la industria láctea asciende a \$550 USD, con una jornada laboral estándar de 160 horas mensuales. A partir de estos datos, se determina el costo por hora de trabajo de la siguiente manera:

$$\frac{\$ 550}{160 \text{ horas/mes}} = 3.44 \text{ USD / hora}$$

Dado que la implementación del sistema automatizado ha logrado optimizar 1 hora con 32 minutos por jornada, se calcula el valor de $\frac{\text{horas}}{\text{día}}$:

$$1 \text{ hora} + \frac{32}{60} \text{ horas} = 1.53 \frac{\text{hora}}{\text{día}}$$

Tomando en cuenta que la planta opera 5 días a la semana, el ahorro mensual en tiempo operativo se calcula como:

$$1.53 * 5 * 4.3 = 32.9 \text{ horas ahorradas al mes}$$

El ahorro mensual en costos laborales se determina multiplicando este valor por el costo por hora del trabajador que se calcula anteriormente:

$$32.9 * 3.44 = 113.18 \frac{USD}{mes}$$

Con respecto a los datos analizados se determina el ahorro anual estimado

$$113.18 \frac{USD}{mes} * 12 meses = 1,358.16 \frac{USD}{año}$$

La siguiente Tabla 39 y Figura 5. 22 , muestra el ahorro acumulado y la recuperación de la inversión:

Tabla 39: Tabla de ahorro acumulado-mes.

Mes	Ahorro Acumulado (USD)
0	0.00
1	113.18
2	226.36
3	339.54
4	452.72
5	565.90
6	679.08
7	792.26
8	905.44
9	1018.62
10	1131.80
11	1244.98
12	1358.16
13	1471.34
14	1584.52

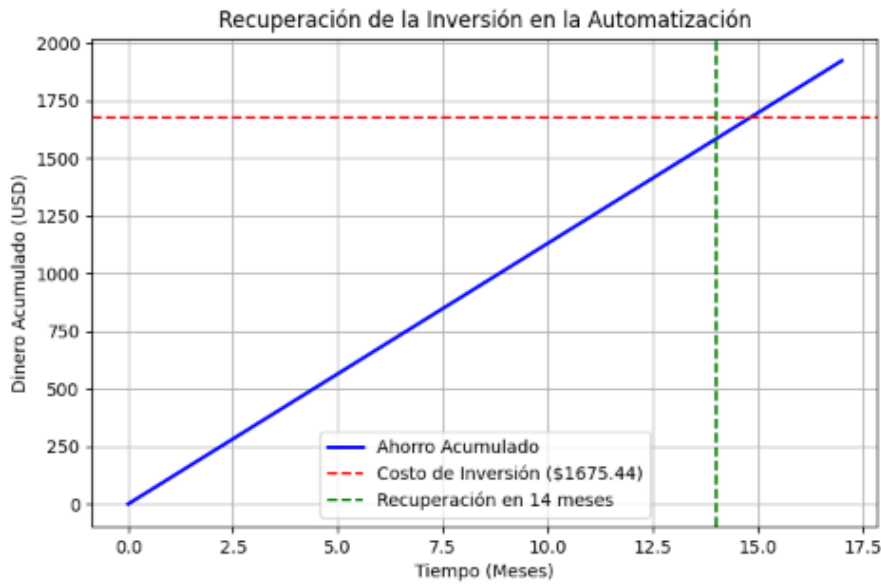


Figura 5. 22 Recuperación de la inversión.

Este ahorro refleja la disminución en la carga laboral del operador, permitiéndole realizar otras tareas, sin necesidad de supervisar constantemente el proceso lo que permite determinar el cálculo del retorno de inversión (ROI).

La ecuación (7), muestra como calcular el retorno de la inversión o ROI :

$$ROI(\%) = \left(\frac{\text{Ahorro anual}}{\text{Costo Total de inversión}} \right) * 100 \quad (7)$$

Donde:

$$\text{Ahorro anual} = 1,358.60 \text{ USD}$$

$$\text{Costo total de inversion} = 1,675.44 \text{ USD}$$

$$ROI(\%) = \left(\frac{1,358.60 \text{ USD}}{1,675.44 \text{ USD}} \right) * 100$$

$$ROI(\%) = 81.1 \%$$

Este resultado indica que la automatización genera un retorno del 81.1% de la inversión cada año, lo que demuestra que el proyecto es altamente rentable. Esta eficiencia económica no solo justifica la implementación del sistema, sino que también evidencia una consecuencia positiva a largo plazo en la reducción de costos operativos.

➤ **Cálculo del Payback Period .**

$$\textit{T tiempo de recuperacion} = \frac{\textit{Costo total de inversion}}{\textit{Ahorro anual}} \quad (8)$$

$$\textit{T tiempo de recuperacion} = \frac{1,675.44 \textit{ USD}}{1,358.16 \textit{ USD}}$$

$$\textit{T tiempo de recuperacion} = 1.23 \textit{ años} \approx 1 \textit{ año y 3 meses}$$

➤ **TIR**

Estimando que el tiempo de recuperación es de 1 año con 3 meses se toma el valor del año 1 como 1358.16 USD y para el valor del año 2 se calcula con respecto a que el valor acumulativo que no varía siendo este de 339.54 USD

AÑO 0: -1675.44

AÑO 1: 1358.16

AÑO 2: 339.54 meses

$$1358.16 \rightarrow 12 \textit{ meses}$$

$$? \rightarrow 3 \textit{ meses}$$

$$2 \textit{ años} = \frac{1358.16 * 3}{12}$$

$$2 \textit{ años} = 339.54 \textit{ USD}$$

Determinar el valor del TIR

$$0 = -1675.44(1 + TIR) + 1358.16(1 + TIR)^2 + 339.54$$

A

B

C

➤ **Cálculo del valor actual neto**

$$VAN = \sum \frac{\textit{flujo de caja}_t}{(1 + r)^t} - \textit{Inversión Inicial} \quad (9)$$

Donde:

flujo de caja_t = ahorro generado cada año.

TIR = tasa interna de retorno.

t = numero de años.

$$VAN = \frac{1358.16}{(1.01)^1} + \frac{1358.16}{(1.01)^2} - 1675.44$$

$$VAN = 1000,67 \text{ USD}$$

El análisis financiero indica que la automatización del proceso de pasteurización en la industria láctea TIOLAC no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que también representa una inversión altamente rentable.

Retorno de Inversión (ROI): 81.1% anual, lo que indica que en poco más de un año el sistema generará ahorros equivalentes al costo de la inversión.

Tiempo de Recuperación (Payback Period): 1 año y 3 meses, lo que indica que después de este período de tiempo el sistema comenzará a generar beneficios netos.

Valor Actual Neto (VAN): Como el VAN tiene un valor positivo, significa que la inversión es altamente rentable y generará beneficios netos después de recuperar el capital inicial

Los resultados demuestran que la implementación de la automatización mejora la productividad y también ofrece un retorno financiero sólido en el corto plazo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Durante la investigación, se identificó que en la industria láctea existen tres métodos principales de pasteurización: VAT, HTST y UHT. Cada uno de ellos tiene como diferencia la temperatura y el tiempo de duración del proceso, manteniendo una relación directamente proporcional en la que un incremento en la temperatura reduce el tiempo de pasteurización. Se determinó que el método de pasteurización más adecuado es el VAT, caracterizado por un proceso más lento pero efectivo en términos de calidad del producto final.
- Se realizó la implementación del sistema automatizado con el propósito de reducir los ciclos o tiempo eléctrico automatizado para optimizar el proceso de pasteurización de la leche en la industria láctea. En el aspecto eléctrico, se cumplieron los estándares de construcción establecidos por la norma ISO, los cuales recomiendan el uso de acero inoxidable en la industria alimentaria, destacando el acero A304 por su resistencia a la corrosión y sus propiedades higiénicas. En cuanto a la automatización, se empleó un PLC Siemens S7-1200 1212C como unidad de control, junto con una pantalla Kinco para la interfaz de operación,

además de sensores y actuadores de uso comercial. La integración de estos componentes permitió cumplir con los objetivos establecidos por la Industria Láctea TIOLAC, asegurando un proceso más eficiente, preciso y confiable.

- La comparación entre el proceso manual y el sistema automatizado evidenció una mejora significativa en la eficiencia operativa. Mientras que la pasteurización manual requería un tiempo de 1 hora, 57 minutos y 27 segundos, la automatización permitió reducir este tiempo a 46 minutos y 42 segundos, logrando una disminución de 1 hora, 10 minutos y 45 segundos, lo que representa una reducción del 60,77 % en el tiempo total del proceso. Esta optimización contribuye a una mayor productividad y distribución de tareas, sino que también minimiza el esfuerzo operativo y mejora la gestión del tiempo dentro de la Industria Láctea TIOLAC.

6.2. Recomendaciones

- Realizar el diseño con los ajustes necesarios para que no haya una recirculación de agua y vapor por todas las tuberías, para que sea un lugar laboral seguro. Actualmente, la falta de separación en las tuberías puede generar confusión en la manipulación del sistema, lo que podría afectar la eficiencia del proceso. Un diseño más preciso permitiría un control seguro del flujo térmico, garantizando un funcionamiento óptimo y reduciendo el riesgo de fallos operativos.
- También es recomendable dar un mayor uso al sistema de desfogue implementado, ya que ha demostrado mejorar las condiciones térmicas en el área de trabajo. Una mejor ventilación no solo contribuye al bienestar del personal, sino que también ayuda a mantener un ambiente más estable para el funcionamiento de los equipos. Además, sería conveniente evaluar posibles mejoras en su diseño para optimizar su desempeño y garantizar un entorno laboral más comfortable.
- Asegurar la estabilidad y eficiencia del sistema automatizado, sería beneficioso establecer un plan de monitoreo y mantenimiento preventivo. Proponer la expansión y mejora de los sistemas en cada una de las áreas. La revisión periódica de sensores, actuadores y del PLC ayudaría a identificar posibles fallos antes de que afecten el proceso de pasteurización. Con ello, se reducirían los tiempos de inactividad y se garantizaría una operación continua y confiable dentro de la Industria Láctea TIOLAC.

7. REFERENCIAS

- [1] G. S. Wilson, «The Pasteurization of Milk», *Br Med J*, vol. 1, n.º 4286, pp. 261-262, 1943, doi: 10.1136/bmj.1.4286.261.
- [2] J. E. Schlessler, D. J. Armstrong, A. Cinar, P. Ramanauskas, y A. Negiz, «Automated Control and Monitoring of Thermal Processing Using High Temperature, Short Time Pasteurization», 1997.
- [3] KENIA MELISSA CABRERA POZO, «Diseño e implementación de un sistema SCADA para el proceso de pasteurización de leche», La Libertad, 2017. Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4056>
- [4] J. Aguilar, A. Rios Bolivar, F. Hidrobo, y M. Cerrada, *Sistemas MultiAgentes y sus Aplicaciones en Automatización Industrial*.
- [5] «Proceso Discreto o Continuo - Geprom», <https://www.geprom.com/diccionario/proceso-discreto-o-continuo/>.
- [6] E. S. A. SEAS, «El proceso Batch y la mejora de la productividad | Blog SEAS», <https://www.seas.es/blog/informatica/el-proceso-batch-y-la-mejora-de-la-productividad/>.
- [7] P. Ponsa, R. Vilanova, P. Ponsa, A. Ramon, y V. Arbós, *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA AULA POLITÈCNICA / COMPUTACIÓN Y CONTROL*.
- [8] A. Brunete, P. S. Segundo, y R. Herrero, «Introducción a la Automatización Industrial», 2024.
- [9] E. Pérez-López, «Los sistemas SCADA en la automatización industrial SCADA systems in the industrial automation».
- [10] García Moreno Emilio, *AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES ROBÓTICA Y AUTOMÁTICA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA*. 1999. [En línea]. Disponible en: www.lalibreria.upv.es
- [11] M. Alberto Perez Ing Analía Perez Hidalgo Bioing Elisa Perez Berenguer, «“INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL Y MODELO MATEMÁTICO PARA SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO.”», 2007.
- [12] admin, «¿Qué es una HMI (Interfaz Hombre-Máquina) y cuáles son sus principales características? - AUTEXOPEN», <https://www.autex-open.com/sistemas-mes/que-es-una-hmi-interfaz-hombre-maquina-y-cuales-son-sus-principales-caracteristicas/>.

- [13] «ISA-101.01, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems», <https://www.isa.org/intech/2020/september-october/isa-101-01-human-machine-interfaces-for-process-au>.
- [14] DYLAN ANDRES ALZATE RODRIGUEZ, «CONTROL Y MEDIDA DE NIVEL DE LIQUIDO CON SEÑALES DE ULTRASONIDO», UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2010.
- [15] «LVCN_LVCF_LVCR_LVCP Conductivity Level Switches», https://es.omega.com/pptst/LVCN_LVCF_LVCR_LVCP.html.
- [16] J. Bausà Aragonés Carlos García Gómez Benito Zaragozaí Zaragozaí Alex Gil Martínez Daniel Moreno Campos Antonio Galiana Llinares, «SENSORES DE TEMPERATURA».
- [17] «Transmisores». Accedido: 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/115496607/5-Transmisores>
- [18] «Transmisores Electricos 2.2 | PDF | Electricidad | Electrónica», <https://es.scribd.com/document/625051259/transmisores-electricos-2-2>.
- [19] «Los Transmisores Hidraulicos | PDF», <https://es.scribd.com/doc/272662228/Los-Transmisores-Hidraulicos>.
- [20] «Sistema de Telemetría: transmisor inalámbrico», https://www.veto.cl/sistema-de-telemetria-transmisor-inalambrico-h4403007/p?srltid=AfmBOorvwW9BdMnRO_No4SIbP2z7uPepVcWgvqnt058A0Ba2Bpse9GTP.
- [21] «Conoce todo acerca de los motores eléctricos: ¿Qué son, qué tipos existen y cómo se utilizan?», <https://www.promelsa.com.pe/blog/post/que-es-motor-electrico-tipos.html>.
- [22] «¿Qué tipos de motorreductores hay y cuáles son sus características?», <https://novedadesautomatizacion.com/tipos-de-motorreductores-elmeq/>.
- [23] P. Willem, «Válvula Solenoide - Descripción General y Tipos», <https://tameson.es/pages/electrovalvulas-como-funcionan>.
- [24] Revilla Aurelio, «TECNOLOGIA_DE_LA_LECHE_REVILLA», vol. 2, p. 130, 1982.
- [25] F. De Informática y Y. Electrónica, «ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO», 2016.
- [26] Chicaiza Jesús, «UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA», Quito, sep. 2020.

- [27] SIEMENS, «Controlador programable S7-1200», 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.siemens.com/automation/>
- [28] «TMR35 Termómetro compacto», <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-temperatura/sonda-temperatura-sanitaria?t.tabId=product-overview>.
- [29] «S18U Series Barrel Ultrasonic Sensor», https://www.bannerengineering.com/mx/es/products/sensors/ultrasonic-sensors/ultrasonic-sensors-s18u-series.html?sort=1&srsltid=AfmBOopX6JETd42w7cp_pkK1zIJ0GcbGkRbtGcKkAmrS1c bfYN317jke#all.
- [30] E. G.; P. J. Maida, «Metodologías de desarrollo de software», PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA SANTA MARIA DE LOS BUENOS AIRES, Buenos Aires, 2015.
- [31] «Cable ST THHN Concéntrico Flex # 4x10 AWG 100m | Electrocables - Disensa Ecuador», <https://disensa.com.ec/producto/cable-st-thhn-conc-flex-4x10-awg-100m-electrocables/>.