



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta Tecnológica, previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**“Diseño e implementación de un sistema SCADA para el
proceso de pasteurización de leche”**

AUTOR

KENIA MELISSA CABRERA POZO

PROFESOR TUTOR

ING. CARLOS SALDAÑA ENDERICA. MACI.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Jehová Dios por concederme la fuerza y perseverancia necesaria en los momentos difíciles a lo largo de mi vida, levantándome con su amor infinito para continuar cumpliendo con cada objetivo planteado.

Agradecimiento especial a mi madre, por el amor puro y sincero que supo entregarme durante todo este tiempo, quien me enseñó a no desmayar a pesar de las dificultades presentadas, a mi familia por el apoyo absoluto en esta etapa de mi vida, a José por su amor y paciencia brindándome su apoyo incondicional en todo momento, a mi amiga Juanita por darme ánimos y guiarme en la elaboración de este proyecto y a los docentes por compartir sus conocimientos con paciencia y dedicación logrando formarme intelectualmente durante toda mi preparación académica.

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado, un esfuerzo total es una victoria completa.”

Mahatma Gandhi.

Kenia Melissa Cabrera Pozo.

DEDICATORIA

Tu amor incondicional y tu arduo trabajo en la vida son detonantes de todo lo que soy ahora, aunque ya no estés conmigo, eres y serás mi orgullo más grande, y no hay manera de devolverte todo lo que me ofreciste y todo maravilloso que pudo salir de ti.

Te agradezco por enseñarme lo bonito de la vida, por la fortaleza que inesperadamente sacaste de mí aquel día de sabor amargo; eso es lo que me mantiene viva, eres la motivación más grande para concluir con éxito este proyecto y para seguir cumpliendo nuestros sueños.

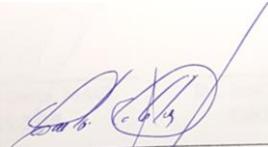
Elisa, madre mía, mi amada mujer este presente va dedicado a ti con todo mi amor de hija, Te amo mami.

Kenia Melissa Cabrera Pozo.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: **“Diseño e Implementación de un sistema SCADA para el proceso de pasteurización de leche”**, elaborado por el estudiante **Cabrera Pozo Kenia Melissa**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicia los trámites legales correspondientes.

La Libertad, Agosto del 2017

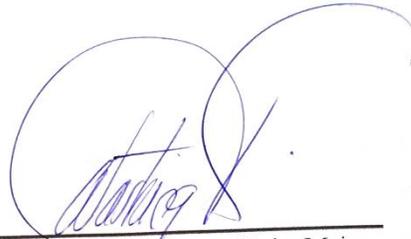


Ing. Carlos Saldaña Enderica MSc.
TUTOR

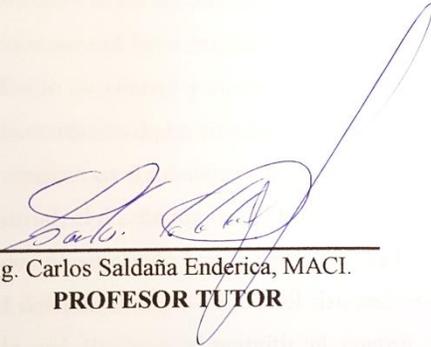
TRIBUNAL DE GRADO



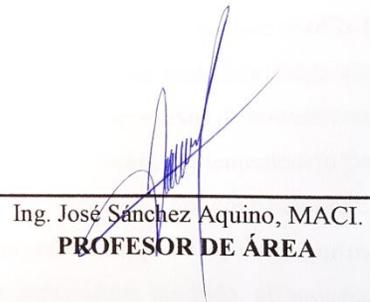
Ing. Shendry Rosero Vásquez. MgTIC.
**DECANO ENCARGADO DE LA
FACULTAD**



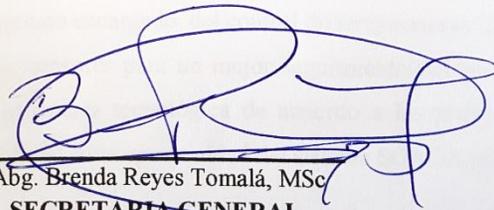
Ing. Washington Torres Guin, Msig.
DIRECTOR DE LA CARREA



Ing. Carlos Saldaña Enderica, MACI.
PROFESOR TUTOR



Ing. José Sánchez Aquino, MACI.
PROFESOR DE ÁREA



Abg. Brenda Reyes Tomalá, MSc
SECRETARIA GENERAL.

RESUMEN

La producción de leche es uno de los principales procesos agropecuarios en el Ecuador, aunque este se realiza en varias ciudades, el 11% realiza producción artesanal de sus derivados de acuerdo datos del Libro el Ecuador y su Realidad edición 2009-2010, uno de sus post procesos de leche es su pasteurización, no toda empresa artesanal emplea el mismo tipo de pasteurizado, este depende del volumen de producción de leche. En la hacienda “Las Vaquitas” existe una producción de leche pasteurizada estimada de 3000 litros diarios, pero por la falta de control y supervisión en su etapa más importante que es el calentamiento de la leche se genera pérdidas en la producción final y no hay una buena calidad del producto, el índice de calidad se refleja por un buen proceso, controlando todos los parámetros requeridos, tomando en cuenta los recursos que se requiere para el buen manejo de producción, por esa razón se sugiere como solución un diseño de control y supervisión para la pasteurización de leche, por medio de la implementación de un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), que consiste en el montaje de un módulo de control con dispositivos de automatización industrial, el diseño lógico del tipo de pasteurización de leche, implementación de una red de comunicación con una arquitectura Ethernet y Modbus, dos controladores; uno es el sistema principal de todo el sistema, encargado de adquirir los datos por medio de la red Ethernet y permitir el control y supervisión de todo el proceso de pasteurización en el sistema SCADA y en la interfaz amigable HMI destinado para el módulo de control y el segundo encargado del control de temperaturas del sistema, el cual adquiere datos de los sensores para un mejor seguimiento del proceso, con la implementación de esta propuesta tecnológica de acuerdo a las pruebas descritas, consta de un 100% de fiabilidad en la operatividad del sistema SCADA para el proceso de pasteurización.

ABSTRACT

Milk production is one of the main agricultural processes in Ecuador, although this is carried out in several cities, 11% handmade production of its derivatives according to data from the Book of Ecuador and its Reality edition 2009-2010, one of its post milk processing is pasteurization, not every craft company uses the same type of pasteurized, this depends on the volume of milk production. At the "Las Vaquitas" farm there is a production of pasteurized milk estimated at 3000 liters per day, but due to the lack of control and supervision at the most important stage of heating the milk, losses are produced in the final production and there is no good quality of the product, the quality index is reflected by a good process, controlling all the required parameters, taking into account the resources that is required for the good management of production, for that reason it is suggested as a solution a control and supervision design for the pasteurization of milk, through the implementation of a Supervisory Control and Data Adquisition (SCADA) system, which consists of the assembly of a control module with industrial automation devices, the logical design of the type of milk pasteurization, implementation of a communication network with an Ethernet and Modbus architecture, two controllers; one is the main system of the whole system, responsible for acquiring the data through the Ethernet network and allowing the control and supervision of the entire pasteurization process in the SCADA system and in the friendly HMI interface destined for the control module and the second in charge of temperature control of the system, which acquires data from the sensors for a better monitoring of the process, with the implementation of this technological proposal according to the tests described, consists of a 100% reliability in the operation of the system SCADA for the pasteurization process.

DECLARACIÓN

El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Kenia Melissa Cabrera Pozo.
AUTOR

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
APROBACIÓN DEL TUTOR	III
TRIBUNAL DE GRADO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
DECLARACIÓN	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
LISTA DE ANEXOS	XIV
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1	ANTECEDENTES	2
1.2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	3
1.3	OBJETIVOS DEL PROYECTO	4
1.3.1	OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4	RESULTADOS ESPERADOS	5
1.5	JUSTIFICACIÓN	5

1.6	METODOLOGÍA	6
-----	-------------	---

CAPÍTULO II

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

2.1	MARCO CONTEXTUAL	8
2.2	MARCO CONCEPTUAL	9
2.2.1	COMUNICACIÓN INDUSTRIAL	9
2.2.2	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL	9
2.2.2.1	PROTOCOLO MODBUS	9
2.2.2.2	ETHERNET INDUSTRIAL	10
2.2.3	NORMAS ISA 101	11
2.2.4	INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA	12
2.2.5	SISTEMAS SCADA	13
2.2.6	INTERCAMBIADORES DE CALOR	14
2.2.7	PASTEURIZACIÓN	16
2.3	MARCO TEÓRICO	17
2.4	DESARROLLO	19
2.4.1	COMPONENTES FÍSICOS Y LÓGICOS	19
2.4.1.1	COMPONENTES FÍSICOS	19
2.4.1.2	COMPONENTES LÓGICOS	25
2.5	DISEÑO DE LA PROPUESTA	28
2.5.1	TRANSFERENCIA DE CALOR	28
2.5.2	COMPONENTES DE AUTOMATIZACIÓN.	30
2.5.2.1	Controlador de temperatura DELTA modelo DTB4848.	30
2.5.2.2	Controlador Lógico Programable PLC.	32
2.5.2.3	PROGRAMACIÓN PARA EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN.	34
2.5.2.4	PROGRAMACIÓN PARA PLC MASTER	38
2.5.2.5	PROGRAMACIÓN PARA PLC SLAVE – CALENTAMIENTO.	40
2.5.2.6	CONFIGURACIÓN DEL KEPSERVEREX 6	42
2.5.2.7	PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA SCADA.	45
2.5.2.8	DISEÑO DE SISTEMA SCADA.	46

2.5.2.9	DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA HOMBRE – MÁQUINA.	52
2.6	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	56
2.6.1	FACTIBILIDAD TÉCNICA.	56
2.6.2	FACTIBILIDAD ECONÓMICA.	61
2.7	PRUEBAS	67
2.8	RESULTADOS	72
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES	74
	BIBLIOGRAFÍA	75
	ANEXOS.	79

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Nombre	Página
1	Funcionamiento básico MAESTRO - ESCLAVO	9
2	Arquitectura Modbus	10
3	Configuración de intercambiador contraflujo	15
4	Pantalla HMI	23
5	Estructuras de cables STP y UTP	24
6	Conector de controlador de temperatura	24
7	Configuración de conector PLC - HMI	25
8	Portada de software TIA Portal	25
9	Diagrama escalera	26
10	Interfaz de comunicación KEEPSERVER	27
11	Programa Dopsoft	28
12	Diámetros de tuberías de intercambiador	28
13	Diagrama de bloques físicos	32
14	Diagrama topológico	32
15	Diagrama topológico físico	33
16	Configuración de canal de comunicación KEEPSERVER	41
17	Configuración de dispositivo KEEPSERVER	42
18	Configuración de GATEWAY KEEPSERVER	43
19	Configuración de ALIASES KEEPSERVER	43
20	Configuración de ACES NAME KEEPSERVER	44
21	Configuración de TAG NAME KEEPSERVER	45
22	Pantalla “Inicio” del sistema SCADA	46
23	Pantalla principal SCADA	46
24	Pantalla principal modo administrador SCADA	47
25	Menú administrador SCADA	47
26	Menú del sistema SCADA	48
27	Monitoreo del sistema SCADA	49

N°	Nombre	Página
28	Histórico de datos SCADA	50
29	Resumen de SCADA	51
30	Pantalla general de proceso HMI	52
31	Monitoreo de proceso de calentamiento HMI	53
32	Menú administrador HMI	53
33	Control de temperatura y presión de caldera	53
34	Control de temperaturas de reservorios de leche HMI	54
35	Monitoreo de proceso de llenado forma manual HMI	54
36	Activación de bombas y electroválvulas HMI	54
37	Historial de alarmas HMI	55

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Nombre	Página
1	Datos técnicos de PLC S7-1200	20
2	Datos técnicos de módulo CM1241	21
3	Datos técnicos de controlador de temperatura.	22
4	Tipos de termocuplas	22
5	Configuración de conexiones de controlador de temperatura	22
6	Parámetros de configuración de controlador de temperatura	31
7	Direcciones IP y funciones de PLC	34
8	Representación de alarmas en BITS	39
9	Parámetros de configuración para activación de módulo Modbus	40
10	Comparación de controladores.	58
11	Comparación de OPC.	59
12	Comparación de software de instrumentación gráfica.	60
13	Costos de equipos para implementación de SCADA	61
14	Costos de materiales de instalación	62
15	Costos de mano de obra de instalación del sistema SCADA	62
16	Costos totales de implementación	62
17	Datos actuales de producción de la Hacienda	63
18	Datos sugeridos para la producción de la Hacienda	64
19	Prueba de comunicación PLC – SCADA, caso 1	67
20	Prueba de comunicación PLC – SCADA, caso 2	68
21	Prueba de comunicación PLC – SCADA, caso 3	69
22	Prueba de comunicación PLC – SCADA, caso 4	69
23	Prueba de comunicación PLC – SCADA, caso 5	70
24	Prueba de comunicación PLC – SCADA, caso 6	71

LISTA DE ANEXOS

N° DESCRIPCIÓN

- 1 Descripción gráfica de programación de TIAPortal.
- 2 Programación de WonderWare Intouch.
- 3 Entradas y salidas del OPC (KeepServerex).
- 4 Entrevista al administrador de hacienda “Las Vaquitas”.
- 5 Carta Aval.

INTRODUCCIÓN

Esta propuesta tecnológica tiene como objetivo diseñar un sistema SCADA para el proceso de pasterización de leche en la hacienda “Las Vaquitas”, ubicado en parroquia Colonche del cantón Santa Elena, en la cual se ha evidenciado una falencia en la producción final del producto a causa de la falta de control y supervisión en las etapas del proceso en el sistema actual.

En el capítulo 1 se detalla la estructura general del proyecto, observando el desarrollo de la producción de leche artesanal en el país, y en este caso enfocándose en la implementación de un sistema SCADA, para un eficiente control del proceso.

En el capítulo 2 se describen dos secciones; fundamentos teóricos y desarrollo de la propuesta, en la primera sección se hace reseña al contexto del proyecto, los conceptos generales de los componentes y las bases teóricas relacionadas al tema propuesto. Se presenta un estudio de tecnologías industriales como definiciones de automatización, tipos de redes, normas de instrumentación y protocolos de comunicación.

En la segunda sección se describe de forma detalla los componentes físicos y lógicos que se usan en el desarrollo del sistema lógico para el proceso de pasteurización. En el diseño de la propuesta se utiliza algunos tipos de software programables, como Wonderware Intouch, para el diseño del sistema SCADA, Tia Portal, con un lenguaje de programación escalera para el PLC, Dopsoft para el diseño del control manual por medio de pantalla HMI.

CAPÍTULO I

1.1 ANTECEDENTES

La hacienda “Las Vaquitas” se encuentra ubicada en la Parroquia Colonche de la Provincia de Santa Elena, por medio de una conversación formal con la administradora y los trabajadores, dicho lugar es encargado de distribuir leche en mediana escala a las parroquias y lugares cercanos. Esta hacienda cuenta con un sistema de automatización básica con una capacidad de producción de 3000 litros diarios, sin embargo existen factores que afectan dicha producción, el mal control de temperatura en la etapa de calentamiento y la falta de asistencia técnica por razones presupuestarias, obteniendo como resultado una producción de actual de 2800 litros de leche pasteurizada con un perdida evidente de 200 litros aproximadamente al día.

Dentro del proceso de pasteurización de leche existen varias etapas de acuerdo al tipo de pasteurizado. La hacienda emplea el tipo de pasteurización HTST (high temperature short time) alta temperatura - corto tiempo donde consta de dos etapas: calentamiento y enfriamiento del producto. La automatización está compuesta de los siguientes elementos; un reservorio refrigerante principal que está a una temperatura de 4 grados centígrados, que sirve para el almacenamiento inicial del producto, una caldera eléctrica, dos intercambiadores de calor con 3,06 m² de cañería con tubo exterior de 2” y tubo interior de 1^{1/4}”, en el primer intercambiador (frio- caliente) en el tubo exterior pasa a recircular el agua de la caldera y en el tubo interior la leche para su respectivo calentamiento, en la etapa para el enfriamiento tienen un segundo intercambiador(caliente-frio) en el tubo exterior recircula agua a temperatura ambiente que proviene de una cisterna de 20m³ y en el tubo interior la leche que sale del intercambiador de calor, dos tanques de acero inoxidable, el primer tanque recibe la leche del reservorio principal, y el segundo tanque recibe la leche que sale de la etapa de calentamiento, a su vez cuenta con sus respectivas electroválvulas y bombas de acero inoxidable para leche y bombas centrifugas para el agua.

La etapa más importante del proceso de pasteurización es la etapa del calentamiento de la leche, este no posee un control de temperatura adecuado que exige el tipo de pasteurización que se aplica actualmente.

En la Hacienda “Las Vaquitas” el control de temperatura se lo realiza por medio de termómetros analógicos, donde los operadores deben estar pendientes del calentamiento de la leche, lo que ocasiona un sobrecalentamiento o ultra pasteurizado dando como resultado un producto final mal procesado.

La misma no cuenta con un registro detallado del nivel de producción debido a la posición geográfica de la hacienda, la planta de pasteurización se encuentra ubicada a 300mts de la estación de mando, lo que dificulta una supervisión conveniente dentro del proceso.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto consiste en la implementación de un sistema de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA) para el proceso de pasteurización de leche, el proyecto consta de dos partes:

Los equipos para la optimización de la etapa del calentamiento del proceso de pasteurización está integrado en un módulo de control que consta de los siguientes elementos industriales como PLC's que serán los encargados de realizar el control de cada etapa del proceso de pasteurización, acompañado de controladores de temperaturas con sus respectivos sensores de medición para la lectura de temperaturas, pantalla HMI para la visualización y control manual del sistema, pulsadores para el encendido y apagado del sistema, luces pilotos para indicar que las bombas y electroválvulas estén activas e inactivas, para la configuración de los equipos se utiliza una arquitectura centralizada y para comunicación industrial se implementará una red Ethernet para la comunicaciones entre controladores, con la finalidad de escoger las mejores condiciones de operación.

El diseño y la implementación del sistema SCADA, este tiene como objetivo principal controlar y supervisar de forma confiable, el mismo que se validará en la simulación del proceso de pasteurización, la creación del SCADA se realiza bajo las normas de diseño ISA 101 para supervisión de parte de los operadores, y así obtener toda la información de lo que ocurre en la planta.

En la automatización básica del proceso de pasteurización se implementa un control on/off con lazo de histéresis para la etapa del calentamiento de la leche, este control evita que se sobrecaliente la leche permitiendo obtener un buen proceso de pasteurización.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de control y supervisión para la automatización del proceso de pasteurización de la leche, mediante el uso de equipos electrónicos y herramientas con tecnología siemens y delta.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Instalar y configurar las redes de comunicación industrial para los equipos de automatización.
- Diseñar e implementar el sistema SCADA para la automatización del proceso de pasteurización.
- Diseñar e implementar una interfaz hombre-máquina para control y supervisión en sitio del proceso de pasteurización.
- Realizar pruebas de comunicación entre el PLC y el servidor OPC-KEPSERVEREX para verificar el funcionamiento del sistema SCADA del proceso de pasteurización de leche.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS

El desarrollo de esta propuesta permite un empleo adecuado de las diferentes tecnologías a utilizar, esperando obtener las siguientes soluciones:

- Implementación de la red de comunicación industrial, que tiene como objetivo alcanzar una eficiente transmisión de datos dentro del sistema de control para obtener una adquisición de información del sistema de pasteurización.
- Implementación de un sistema SCADA que permita realizar un correcto control y supervisión, adquiriendo datos en tiempo real para la toma de decisiones futuras del proceso de pasteurización.
- Una interfaz hombre –máquina que permita realizar un monitoreo detallado y control de parámetros establecidos en la planta de pasteurización, brindando facilidad al operario y administrador conocer cada aspecto del sistema y a la vez poder realizar un cambio presencial de cualquier anomalía presentada.
- Validación en la pruebas de comunicación entre controlador y el OPC-KEPSERVEREX eficiente para la demostrador del sistema SCADA.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La producción de leche de la Hacienda “LAS VAQUITAS” exige un mejor control en la etapa del calentamiento del proceso de pasteurización, esta propuesta está enfocada en mejorar el control y supervisión del proceso de pasteurización a través de la creación de un sistema SCADA donde permite controlar la temperatura de la caldera por medio de un control de histéresis evitando así el sobrecalentamiento de la leche.

Supervisar de forma remota solucionando el problema de control de registros y de variables a monitorear como niveles de volumen, presión de caldera, temperaturas a largas distancias.

Almacenar y respaldar información resultante del proceso completo, lo que permite tener a la mano la información necesaria de todo lo que ocurre en la planta de pasteurización.

Tener un adecuado control en la etapa de calentamiento de la caldera, se puede hacer una reducción del personal de operarios y la asistencia técnica del personal extra que anteriormente estaba a cargo del proceso de pasteurización.

El sistema SCADA ofrece una información detallada del proceso de pasteurización lo que proporciona datos de errores y fallos dentro del sistema, lo que permite realizar un mantenimiento predictivo y correctivo de la misma [1].

1.6 METODOLOGÍA

INVESTIGACIÓN APLICADA

FASE 1

Para el sustento del desarrollo de la propuesta tecnológica en esta fase se empleó investigación de fuentes bibliográficas de autores que realizaron temas relacionados con información del proceso de pasteurización, control de automatización y sistemas SCADA. Esta fase también se complementa con el conocimiento adquirido de la etapa universitaria de las asignaturas de electrónica, redes y cursos de automatización industrial.

FASE 2

En esta fase se hace énfasis a los requerimientos del sistema, para la implementación del sistema SCADA en el proceso de pasteurización de leche en la hacienda “Las Vaquitas”.

Se empleó la técnica de observación y análisis de información detallando técnicamente los componentes electrónicos y el software necesarios para la ejecución de esta propuesta.

FASE 3

Se desarrolla las partes de control y programación diseñadas para el sistema SCADA del proceso de pasteurización, teniendo de base la estructura de automatización instalada en la hacienda “Las Vaquitas” y las ventajas que posee, de esa forma haciendo una lógica programable en el software TIA Portal V13 y Wonderware Intouch.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Para la técnica de procesamiento de datos se tienen a considerar los siguientes parámetros:

- Obtención de información a través de libros y tesis basadas en sistemas SCADA y procesos de pasteurización de leche y de la recolección de datos por la técnica de observación en la hacienda “Las Vaquitas”. Se aplica la investigación diagnóstica o exploratoria.
- Selección de información requerida para la propuesta tecnológica. Análisis de los diseños de los sistemas SCADA en los procesos con industria de mediana escala.
- Análisis de los resultados obtenidos a través de las pruebas realizadas, se aplica los conocimientos adquiridos de electrónica y cursos de automatización industrial durante nuestro periodo de aprendizaje estudiantil y se determina los materiales seleccionados anteriormente. Se emplea la investigación aplicada.

CAPÍTULO II

PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1 MARCO CONTEXTUAL

La producción de la leche se ha convertido en un desafío nacional en el territorio artesanal de nuestro país. En el Ecuador la producción de leche llega a 7 millones de litros diarios, más del 90% de producción se encuentra en la Sierra ecuatoriana y solo el 11% a nivel nacional realizar la producción artesanal de leche pasteurizada y sus derivados [2].

Uno de los lugares que realiza esta producción artesanal de pasteurización de leche es la hacienda “Las Vaquitas”, ubicada en la Parroquia Rural Colonche de la Provincia de Santa Elena, su producción de mediana escala alcanza a distribuirse en varias comunas y recintos como: Bambil Collao, La Guadita, Bambil Desecho, Manantial de Guangala, Rio Seco, San Marcos y Salanguillo.

Esta hacienda cuenta con un sistema semi-industrializado básico como reservorios para la leche, termómetros analógicos, caldera, recipientes industriales para el calentamiento y enfriamiento de la leche, operado por trabajadores de la hacienda.

Para la demostración del funcionamiento del sistema SCADA propuesto, se realizará una simulación en los módulos de control del laboratorio de automatización de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, situada en el cantón La Libertad Provincia de Santa Elena facilitando sus componentes electrónicos para el desarrollo de esta propuesta.

Implementar un sistema SCADA, facilita de manera automatizada el proceso de pasteurización de leche, obteniendo datos en tiempos reales y controlando procesos automáticos.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

Área de la tecnología la cual estudia la transmisión en tiempo real de información entre circuitos y sistemas electrónicos, con el fin de realizar tareas de control, garantizando su óptimo funcionamiento para un mejor ciclo de vida del producto industrial [3].

2.2.2 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

2.2.2.1 PROTOCOLO MODBUS

MODBUS RTU

Es un protocolo abierto que usa una interfaz de comunicación RS-232 o RS-485 derivado de la arquitectura Maestro/Esclavo para la comunicación entre dispositivos. Modbus RTU es la opción más empleada del protocolo MODBUS que puede utilizarse libre de derechos, es un protocolo ampliamente aceptado debido a su fácil uso y confiabilidad. [4]

A continuación en la figura 1 se muestra el funcionamiento básico del protocolo Modbus.

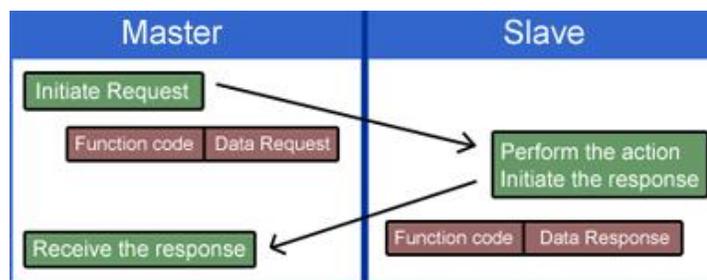


Figura 1: Ilustración de relación maestro- esclavo. www.rtaautomation.com

MODBUS TCP/IP

Modbus/TCP fue introducido por Schneider Automation como una variación de la familia MODBUS considerablemente usada, los protocolos de comunicación simple y

abiertos, destinado para la supervisión y el control de de automatización. El protocolo cubre el uso de mensajes MODBUS en un entorno de tecnologías Intranet o Internet usando los protocolos TCP/IP.

Modbus TCP/IP se ha transformado en un estándar industrial debido a su fácil implementación, simple administración y de necesidades mínimas en cuanto a elementos de hardware [5].

La figura 2 muestra la un ejemplo de arquitectura Modbus.

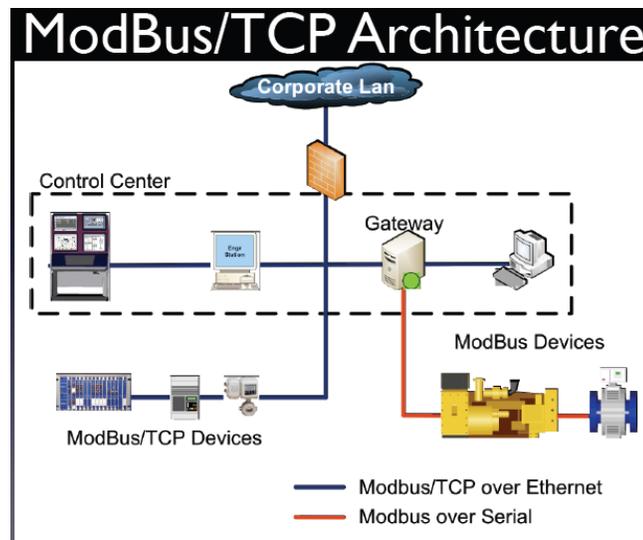


Figura 2: Arquitectura Modbus TCP. www.uhu.es

2.2.2.2 ETHERNET INDUSTRIAL

Ethernet ha evolucionado en lo que se refiere a conectividad para ambientes corporativos e industriales gracias principalmente al enorme crecimiento de internet, por su bajo costo, alta velocidad, amplia gama de medios de transmisión (cobre, fibra óptica, inalámbrica), facilidad de manejo y mantenimientos, entre otros factores.

Ethernet Industrial engloba el uso de la tecnología Ethernet para aplicaciones de control y automatización en un ambiente industrial [6].

2.2.3 NORMAS ISA

El diseño del sistema SCADA y HMI para el proceso de pasteurización de leche se basa en las normas ISA101, a continuación se resalta los ítems que se utilizan para la misma.

Sistema de control.

Un sistema que supervisa y responde a las señales de entrada del equipo que está siendo monitoreado y / o de un operador y genera señales de salida que hacen que el equipo funcione bajo control, en la forma deseada.

Cuadro de mandos.

Un resumen gráfico que muestra varias piezas de información importante típicamente de visión general de un proceso o parte del proceso.

Visualización (gráfico, ventana).

Una representación visual del proceso e información relacionada utilizada por el operador para el monitoreo y control.

Color.

- La presentación de combinaciones de colores debe ser considerada durante el diseño.
- El contraste y el brillo deben ser utilizados. Los colores elegidos deben ser distinguibles de cada uno
- De acuerdo con la filosofía de alarma de la instalación y la ISA 18.2, los colores utilizados para la presentación de la alarma deben ser reservados y no utilizados para ningún otro propósito con el fin de fortalecer su significado cognitivo y acelerar la respuesta del operador a las alarmas.
- La selección de los colores utilizados en una pantalla debe reflejar la importancia de la información presentada. Los colores más notables de una pantalla se deben

utilizar para la información que es más importante. La información menos importante no debe ser más perceptiva que la más importante información.

- El color y / o el parpadeo de los símbolos deben dirigir la atención del operador a las situaciones de nuevo desarrollo.

Principios generales del diseño HMI.

- El diseño de HMI debe ser compatible con todos los usuarios esperados de HMI.
- Capacidades y limitaciones. El diseño de HMI debe soportar las tareas principales del proceso: monitoreo, control y toma de decisiones.
- El diseño del HMI debe minimizar el impacto de la tareas (es decir, mostrar la navegación dentro del HMI) que puedan distraer al usuario del HMI.

Conceptos Generales HFE.

- La forma en que las funciones del HMI deben ser intuitivas para el usuario.
- La relación de cada pantalla y su funcionalidad debe ser clara para el usuario.
- El HMI debe estar diseñado para apoyar tareas relacionadas con todos los modos de operación. No debe contener información innecesaria ni controles innecesarios.

Estilos de proceso.

Los estilos de proceso utilizan un diseño de tubería y equipo, similar a un P & ID o PFD, para mostrar el proceso [7].

2.2.4 INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Human machine interface, es aquel sistema que se acopla a las tareas del usuario de forma que vuelve evidente las funciones disponibles en un sistema de automatización y control.

El HMI se clasifica en dos grupos:

- Supervisión de procesos (SCADA Supervisory Control and Data Acquisition).
- Manejo y visualización a nivel de máquina (PANELES) [8].

2.2.5 SISTEMAS SCADA

El nombre SCADA significa: (Supervisory Control And Data Acquisition, Control, supervisor y adquisición de datos).

Un sistema SCADA es un software de monitorización o supervisión que realiza tareas de interface entre niveles de control (PLC) que son especialmente diseñados para funcionar en ordenadores de producción, a través de comunicaciones digitales con instrumentación electrónica e interfaz gráfica del alto nivel.

La interconexión de los sistemas SCADA es propia, realizando una interfaz del ordenador a la planta centralizada, haciendo un lazo cerrado sobre el mismo.

El paquete SCADA en su desagregación de instrumentos de interface hombre-máquina, abarca toda una gama de funciones y utilidades orientadas a establecer una comunicación óptima entre el proceso y el operador. Esta herramienta destaca varias prestaciones:

- Los protocolos de seguridad permiten administración segura y eficiente de los datos, controlando el acceso a personas no autorizadas.
- Gracias a la tecnología web hay fácil acceso desde cualquier sitio geográfico al sistema de control instalado.
- Eficiente calidad del producto por medio de herramientas de evaluación, notificando al operador cualquier incidencia detectada en el momento.
- La instalación del sistema SCADA hace reducción de personal permitiendo un menor número de equipos de mantenimiento, y mejor distribución de recursos y control sobre la red, realizando una coordinada labor entre estaciones remotas en caso de fallo en una de ellas.
- Posibilidad de mantenimiento por parte de proveedores locales de servicios [9].

Lo que diferencia los sistemas SCADA de los sistemas de automatización de interfaz gráfica tipo HMI básicos, es que en los sistemas SCADA utilizan un HMI interactivo, en el que el modo supervisor no solo detecta alarmas sino que a través de la pantalla

soluciona el problema mediante acciones adecuadas en tiempo real. Mientras que un HMI básico solo ofrece una gestión de alarmas en formato rudimentario, las cuales el operario solo le queda realizar una parada de emergencia y reparar la anomalía y realizar un reset. Ciertamente es que los sistemas SCADA ofrecen una interfaz gráfica Operador-Maquina tipo HMI, pero no todos los sistemas de automatización que tienen HMI son SCADA [10].

2.2.6 INTERCAMBIADORES DE CALOR

Los intercambiadores de calor se encuentran en muchos sistemas industriales, tanto químicos o mecánicos, la característica principal de los intercambiadores son sus sistemas de transferencia de calor, la cual cumplen con la función de cambiar la entalpía de una corriente. En este aditamento se mencionan algunos tipos de intercambiadores de acuerdo a los siguientes principios:

- De acuerdo al proceso de transferencia.
 - Contacto directo.
 - Contacto indirecto.
- De acuerdo a los mecanismos de transferencia de calor.
- De acuerdo de disposición de fluidos
 - Flujo en paralelo.
 - Flujo a contracorriente.
 - Flujo cruzado.
- De acuerdo al tipo de construcción
 - Doble tubo.
 - Tubo y coraza.
 - Espiral
 - Placas empacadas.

Doble tubo.

El intercambiador doble tubo es uno de los bocetos más simples, consta básicamente de dos tubos concéntricos, la cual una corriente circula por un tubo interior, mientras que la otra circula por el ánulo que es formado por los dos tubos.

Flujo a contracorriente

Como se ilustra en la figura 3, este tipo de intercambiador de calor de paso único, se representa a contraflujo. El fluido con menor temperatura sale por el extremo del intercambiador por el cual el fluido es de mayor temperatura, dando así que el fluido más frío se aproxime a la temperatura en contracorriente, este tipo resulta más eficiente teniendo una disposición de flujo termodinámicamente superior a los otros tipos de intercambiadores mencionados anteriormente [11].

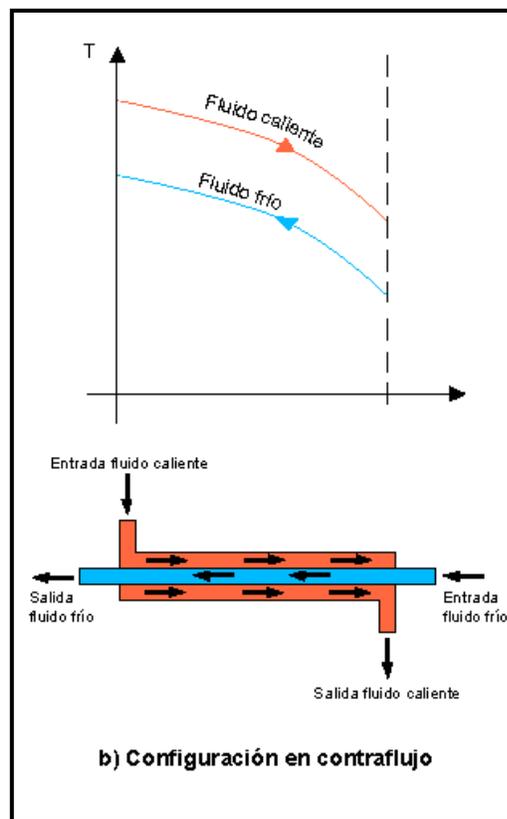


Figura 3: Grafica de configuración en contraflujo. www.pi-dir.com

2.2.7 PASTEURIZACIÓN

La pasteurización es el primer proceso térmico que dio otra perspectiva a la conservación de alimentos, su objetivo es eliminar microorganismos patógenos y reducir la actividad enzimática, obteniendo un producto no dañino para la salud y de calidad. En el proceso de pasteurización de leche intervienen dos variables fundamentales; temperatura y tiempo.

Para obtener un producto inocuo debemos de acudir a variables como procesos térmicos, se dispone de dos tipos de procesos, pasteurización y ultra high temperature (UHT).

La pasteurización se puede repartir en pasteurización lenta, rápida o continua:

Pasteurización VAT o Lenta: Este método fue el primero en el proceso de pasteurización, este proceso consiste en que la leche se debe someter a una temperatura de 63 °C por un tiempo mínimo de 30 minutos, para luego enfriar lentamente, y finalmente envasar el producto. Este tipo de pasteurización es la más simple de las dos citadas y la más adecuada para procesar pequeñas cantidades de leche [12].

Pasteurización Rápida: También se la puede conocer como HTST (high temperature short time) por sus siglas en inglés, es el que más se emplea en los líquidos, como la leche, los zumos de fruta, cerveza, etc. La temperatura que se utiliza es 72 °C por un tiempo de 15 segundos, u otra relación de temperatura con una relación de tiempo equivalente a la temperatura [13].

UHT (Ultra High Temperature): El fundamento de este proceso es la esterilización de los alimentos, debe estar acompañado por un sistema de equipos complejos asépticos para el sistema térmico y envasado, la leche debe procesarse a una temperatura de 135- 149°C durante 2 a 8 segundos y en envase aséptico.

La leche cuando se sella como “PASTEURIZADA” generalmente se trata con el proceso HTST, mientras para que sea etiquetada como “ULTRAPASTEURIZADA”

es entendido que ha sido tratada por el método UHT. Generalmente este método es utilizado el productos como leche, jugos, cremas, yogurt, vinos, aderezos, alimentos para bebe, derivados de tomate, verduras y sopas [14].

La Empresa “Las Vaquitas” realiza el sistema HTST para su proceso de pasteurización de leche, por lo que ofrece mejores beneficios que los otros sistemas, como la productividad, y porque puede procesar en forma continua grandes volúmenes de leche, necesitando de poco equipamiento industrial para realizar el proceso, utilizando un sistema cerrado para evitar contaminantes.

2.3 MARCO TEÓRICO

Se detallan ciertos Trabajos de Titulación estudiados por diferentes autores, ordenados por fecha de publicación a continuación:

D. Pilicita (2013). Diseño y construcción de un equipo para la pasteurización de leche. Esta propuesta fue dirigida para una microempresa de productos lácteos, para llevar a cabo un proceso de pasteurización de leche de forma automática utilizada para la elaboración de quesos, para esto cuenta con un cambio de instrumentación que se adecuado, instalando componentes y actuadores necesarios, el control se lo realizado mediante un Controlador Lógico Programable (PLC) que va de la mano con una interfaz hombre-máquina básico (HMI) para visualizar las temperaturas y el proceso completo de la leche [15].

A Pedraza (2007). Automatización del sistema de comunicación entre equipos de proceso y llenado UHT/UAT (larga vida) en la planta de producción Algarra. El proyecto se realizó por varias carencias que el sistema actual ya poseía, obteniendo así un mejor diseño del sistema ya automatizado para un mejor control y comunicación entre quipos, por medio de PLC's en un lenguaje LADER y un sistema SCADA para la fácil accesibilidad especial para los operarios de la planta. En la implementación del sistema se verifica y valida eficientemente la metodología del diseño propuesto en este proyecto [16].

V. González, L. Armas (2015). Diseño e implementación de un sistema automático para el proceso de pasteurización de leche. El presente trabajo diseño e implemento este sistema para el proceso de pasteurización de base para la elaboración de helado, dicho proceso primordial en la empresa. El sistema es controlado y monitorizado por un HMI SIEMENS e industrializado por un PLC, garantizando un mejor desenvolvimiento en su proceso e incorporando gráficos en el HMI representando cada una de las fases del funcionamiento [17].

A Vinza, C. Vire (2011). Estudio de factibilidad para el diseño de una planta procesadora de lácteos en la ciudad de Chambo, Provincia de Chimborazo. Los estudiantes de la Universidad Politécnica del Chimborazo partieron de un estudio de mercado para diseñar el estudio técnico de producción y el análisis económico para la creación de la planta procesadora de lácteos y determinar costes del proyecto por medio de un análisis de la evaluación del proyecto. La creación de esta planta tiene un gran impacto económico social generando así fuentes de trabajo, mejora la calidad de vida del sector y estimula el crecimiento productivo de la leche, además que su impacto ambiental es muy bajo porque sus residuos no tienen efecto tóxicos y son biodegradables [18].

J. Contreras, K. Puerto (2014). Sistema SCADA para el proceso de pasteurización de jugos. Para esta propuesta se elaboraron módulos de usuarios, alarmas, historial de datos e informes, sistema SCADA, se realiza el diseño estructural en el programa AutoCAD, la lógica programable en el controlador PLC, para la interacción del software SCADA con el PLC se lo realiza a través de KeepServer OPC, por medio de las mismas, instaladas en cada módulo se visualiza el comportamiento del proceso completo, garantizando un eficiente control y supervisión de datos, en tiempo real. Este proyecto se realizó en base a los requerimientos del proceso, dependiendo del fruto escogido para obtener un óptimo funcionamiento [19].

L. Villalba, E. Echeverría (2012). Diseño e implementación de una máquina automática multifunciones para obtener mermeladas, jugos de fruta y pulpa de fruta pasteurizada. En la Universidad Politécnica Salesiana se realizó está propuesta basada

en una máquina automática para procesos semi-industriales del mercado alimentario interno, esta máquina ha sido creada para producir grandes cantidades de productos (mermelada, jugos, pulpa) de varias frutas como piña, mora, guayaba, maracuyá y naranja, utilizando equipos accesibles para este proceso; contando con un PLC y HMI haciendo que el manejo sea amigable para el operador y usuario [20].

2.4 DESARROLLO

2.4.1 COMPONENTES FÍSICOS Y LÓGICOS

2.4.1.1 COMPONENTES FÍSICOS

CONTROL DE PROCESO

CONTROLADOR PLC S7-1200

Plc s7-1200 es un controlador lógico programable que ofrece flexibilidad y capacidad de controlar una diversidad de dispositivos para diferentes tareas de automatización. Tiene un diseño compacto y contiene un amplio juego de instrucciones, lo cual es idóneo para controlar variedades de aplicaciones. Es un PLC que requiere para su alimentación una fuente externa de 24V DC lo que minimiza los ruidos a la red de alimentación AC.

A continuación se muestra la tabla 1 con especificaciones técnicas de este PLC:

DATOS TÉCNICOS	
IMAGEN	
MODELO	CPU 1212C AC/DC/relé
Intensidad disponible (SM y bus CM)	1000 mA máx. (5 V DC)
Intensidad disponible (24V DC)	300 mA máx. (alimentación de sensores)
Consumo de corrientes de las entradas digitales (24V DC)	4 mA/entrada utilizada
Memoria de usuario	25 KB de memoria de trabajo
E/S digitales integradas	8 entradas/6 salidas
E/S analógicas integradas	2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes de entradas (I)/1024 bytes de salidas (Q)
Área de marcas (M)	4096 bytes
Ampliación con módulos de señales	2 SMs máx.

Tabla 1: Datos técnicos de PLC S7-1200. Tomado del Datasheet.

MÓDULO DE COMUNICACIÓN MODBUS

El SIMATIC S7-1200 permite una comunicación punto a punto a través de la ampliación de CPU con las interfaces RS422/485 y RS232. Los módulos de comunicación se pueden definir como maestro o esclavo, si se selecciona la opción de maestro MODBUS, se puede comunicar:

- Con solo un esclavo usando el CM 1241 RS232 (limitación física).
- Con hasta 10 esclavos uno detrás de otro usando la interfaz RS422.
- Hasta 32 esclavos, uno detrás de otro, usando la tecnología RS485.

En la tabla 2 se detallan características técnicas del módulo de comunicación escogido, cumpliendo requerimientos para realizar la correcta comunicación entre componentes.

DATOS TECNICOS	
IMAGEN	
MODELO	CM1241, RS422/485
Consumo máximo	220mA, de bus de fondo 5V DC
Nº de interfaces	1
Física de la interfaz, RS422,485 (X.27)	Si
Punto a punto	
Longitud de cable, máx.	1000 m
Drivers de protocolo integrados	
Freeport	Si
ASCII	Si, disponible en función de librería
Modbus	Si
RTU maestro Modbus	Si
RTU esclavos Modbus	Si
USS	Si, disponible en función de librería
Temperatura ambiente de servicio	
Rango de temperatura permitido	20°C a +60°C con montaje horizontal; -20°C a 50°C con montaje vertical; 95% de humedad en el aire; sin condensación
Cambio permitido de temperatura	5°C a 55°C, 3°C/minuto

Tabla 2: Datos técnicos de módulo cm1241. Tomado del Datasheet.

CONTROL DE TEMPERATURA

El medidor de temperatura es el responsable de recibir los datos a través de un sensor y enviarlos a elementos de control, en este proyecto utilizaremos este modelo de control de temperatura, que cuenta con una serie de opciones de funcionamiento entre las cuales destacamos en la tabla 3:

DATOS TECNICOS	
IMAGEN	
MODELO	delta dtb4848
Tensión de alimentación	100 a 240 VAC, 50/60 HZ
Consumo de energía	5 VA máx.
Tipo de Display	7-segmentos de leds, pantalla PV: color rojo, pantalla SV: color verde
Tipo de sensores	Termopares: K, JT, E, N, R, S, B, U, L, Txk - RTD de platino de 3 hilos Pt100 JPt100
Modo de Control	PID, control ON/OFF, o sintonia manual.
Interfaz de comunicación	MODBUS, ASCII, RTU.
Tasa de Transmisión	2400 - 28400 baudios.

Tabla 3: Datos técnicos de controlador de temperatura. Tomado del Datasheet.

TERMOCUPLAS

Las termocuplas son sensores de temperatura frecuentemente utilizados en la industria. La elaboración de una termocupla consta de dos hilos de distinto material unidos en un extremo por medio de soldadura, que al aplicar temperatura en la unión, genera una alteración de voltaje mínimo. A continuación se detalla en la tabla 4 los tipos de termocuplas existentes:

Tc	Cable + aleación	Cable – aleación	C	Rango (min, máx.) mV
J	Hierro	cobre/níquel	(-180,150)	42.2
K	Níquel/cromo	níquel/aluminio	(-180, 1372)	54.8
T	Cobre	cobre/níquel	(-250, 400)	20.8
R		100% platino	(0, 1767)	21.09

	87% Platino 13% Rhodio			
S	90% Platino 10% Rhodio	100% platino	(0, 1767)	18.68
B	70% Platino 30% Rhodio	94% platino 6% Rhodio	(-0,1820)	13.814

Tabla 4: Tipos de termocuplas. Elaborado por el autor.

HMI DELTA DOP-B03E211

Se elige este modelo de interfaz, ver figura 4, para hacer el monitoreo de forma manual en el módulo de control del proceso de pasteurización, el cual consta de las siguientes características:



Figura 4: Pantalla HMI. www.aliexpress.com

- ✓ Pantalla de (480 x 272 pixeles) TFT LCD con 65536 colores.
- ✓ Puerto COM y soporta los enlaces RS-232 / RS-422 / RS-485.
- ✓ RS-232, USB, Ethernet, son puertos utilizados para la transferencia de datos.
- ✓ Norma IP65.
- ✓ DOPSOFT es compatibles con algunos sistemas operativos como Windows XP, Windows Vista y Windows 7.

MEDIOS DE TRANSMISIÓN

El medio de transmisión que se utiliza para la conexión de dispositivos de adquisición de datos (temperaturas) es por cable UTP categoría 5e, porque solo se realiza demostración práctica por medio de simulación, el medio apropiado para este tipo de

procesos industriales es el cable STP categoría 6a, este posee un recubrimiento de aluminio que protege a los pares trenzados y a la vez actúa de pantalla frente a interferencias y ruido eléctrico, véase figura 5.

El cable de par trenzado está conformado por 8 hilos de cobre con aislamiento de plástico codificado por color evitando las ondas eléctricas entre si al momento de transmitir.

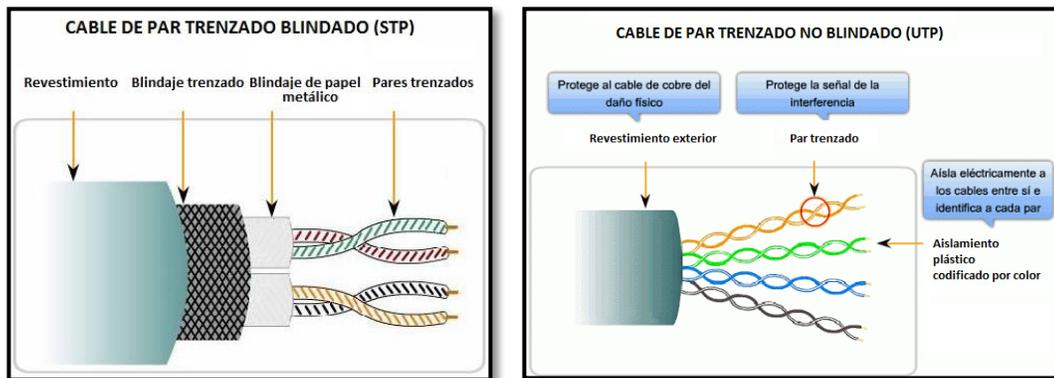


Figura 5: Estructura de cable STP y UTP. [www. http://cidecame.uaeh.edu.mx](http://cidecame.uaeh.edu.mx)

Para la comunicación entre el PLC y el controlador de temperatura, se requiere de una conexión física con conectores adaptados en los extremos de cada uno de ellos, para el controlador se utiliza conector tipo “u” y para el módulo de comunicación MODBUS, ajustado al PLC, se utiliza conector DV9, con la siguiente configuración detallada en la tabla 5 y la figura 6.

Datos (RS 485).	Controlador de temperatura.	Conector DV 9
Data +	Contacto 9	Pin 8
Data -	Contacto 10	Pin 3

Tabla 5: Configuración de conexiones para comunicación RS485. Elaborado por el autor.

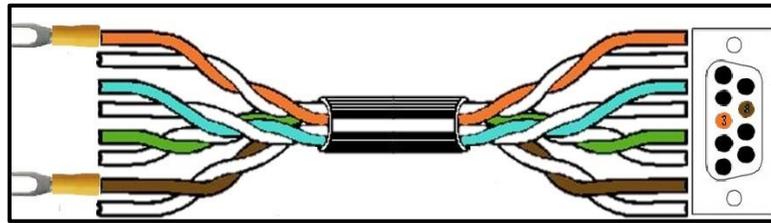


Figura 6: Conector de controlador de temperatura. Elaborado por el autor.

Para la comunicación (transmisión y recepción) de información entre los dispositivos programables, se utiliza la conexión vía Ethernet, con las configuraciones T568A y T568B, que se muestra en la figura 7.

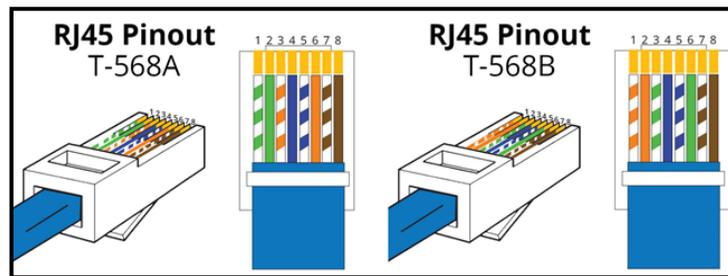


Figura 7: Configuración de conexión para PLC - HMI. www.wordpress.com

2.4.1.2 COMPONENTES LÓGICOS.

NIVEL DE VISUALIZACION.

TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL (TIA PORTAL).

TIA PORTAL, véase figura 8, es un sistema de ingeniería en la automatización, que permite llevar a cabo operaciones, permitiendo configurar todas las tareas de control, operación de máquinas, y planificación; con una interfaz sencilla de manejar dando como resultado un proceso óptimo y transparencia en su funcionalidad.

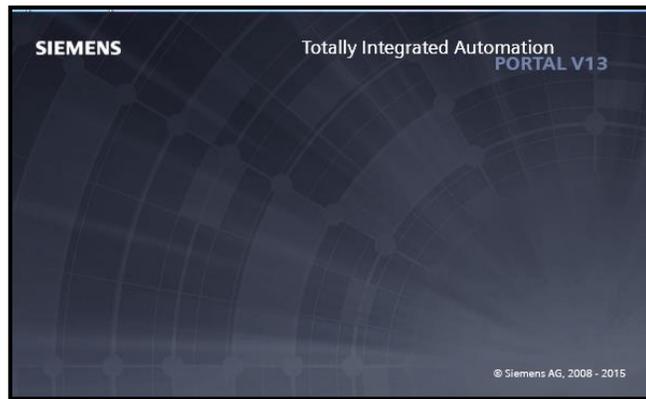


Figura 8: Portada de software TIA Portal. Tia Portal V13 .

Step 7 Basic propone dos lenguajes de programación KOP (esquema de contactos) y FUP (esquema de funciones), para desarrollar una lógica clara y eficiente.

Lenguaje de programación KOP.

Este lenguaje también es conocido como lenguaje escalera, su programación es por medio de gráficos, muy similar a esquemas por circuito, sus elementos son parecidos a los contactores normalmente abiertos o cerrados, este lenguaje ofrece instrucciones con cuadros para varias funciones como: matemáticas, temporizadores, contadores, entre otras.

A continuación se muestra un ejemplo de la programación en la figura 9.

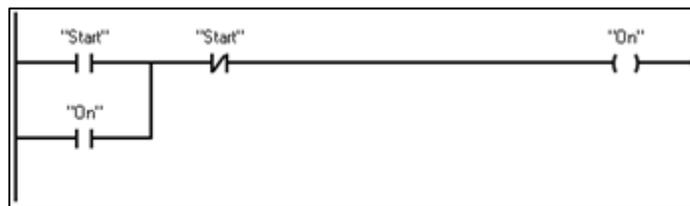


Figura 9: Diagrama Escalera, Tomado del manual S7-1200.

Para la programación del proceso de pasteurización de leche, se utiliza el lenguaje KOP ya que posee una gran facilidad de instrumentación lógica al momento de programar.

OPC - KEPSERVER EX 6.0

KEPServerEX, véase figura 10, es un servidor que posee más de 100 posibilidades de conexión, tiene un Gateway IoT, que permite conectar tecnologías de control con la de información para transmitir datos de operación industrial en tiempo real, en donde realiza un análisis de toda la información correlacionada y útil del proceso de pasteurización.

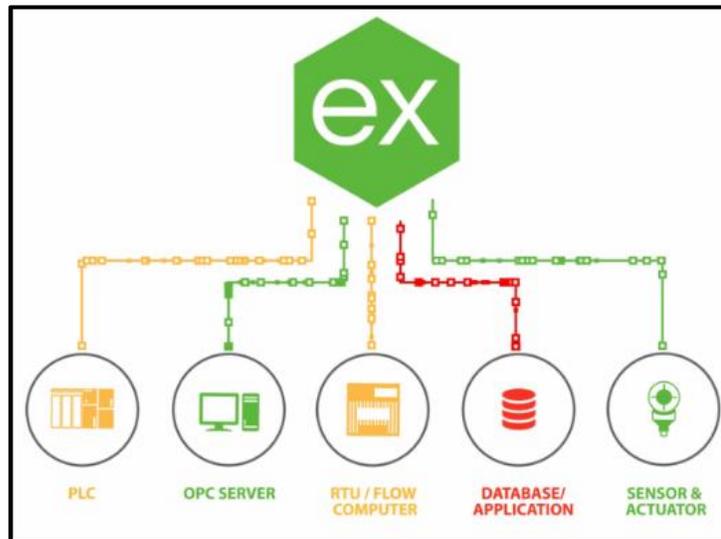


Figura 10: Interfaz de comunicación de KEPSEVER EX. www.kepware.com

WONDERWARE INTOUCH

Este software permite visualizar a los supervisores y administradores, datos de control en el área de producción del proceso de pasteurización en tiempo real por medio de una PC, ofreciendo las siguientes características:

- ✓ Ofrece una visualización accesible desde cualquier lugar.
- ✓ Tiene la facilidad de conectarse a centenares de I/O y servidores OPC, siendo el núcleo de unificación de la planta industrial.
- ✓ Facilita al usuario realizar una interfaz gráfica práctica y entendible.

HMI – DOPSOFT

Es un software con instrumentación gráfica virtual, de configuración y programación de gráficos y objetos para ser controlados y monitoreados en la pantalla HMI.

Ver figura 11.

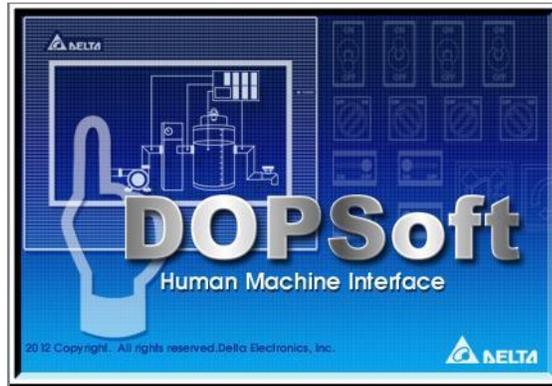


Figura 11: Programa Dopsoft. ©DOPSoft

2.5 DISEÑO DE LA PROPUESTA

2.5.1 TRANSFERENCIA DE CALOR

El proceso de pasteurización utiliza un intercambiador de calor de doble tubo y contraflujo, en donde sus líquidos (agua-leche) fluyen en direcciones opuestas, para el diseño de este tipo de intercambiadores se escoge el diámetro de los tubos para determinar las medidas de acuerdo a la cantidad de líquidos a utilizar para el proceso en general. La tabla 12 muestra los diámetros típicos para la construcción de los intercambiadores de doble tubo.

Tubo exterior, IPS	Tubo interior, IPS
2	1 ¹ / ₄
2 ¹ / ₂	1 ¹ / ₄
3	2
4	3

Figura 12: Tabla de diámetros de intercambiador de calor.

Este diseño realiza la transferencia de calor entre los líquidos mediante un sistema de conducción.

Para ellos se debe determinar el coeficiente de transferencia de calor, a partir de la siguiente ecuación obtenida por la teoría de continuidad de Bernoulli:

Ecuación de continuidad de Bernoulli.
$$\dot{Q}H = \dot{m} \cdot cp \cdot \Delta T \quad (1)$$

$\dot{Q}H$ = coeficiente de transferencia de calor.

\dot{m} = flujo masico.

cp = calor especifico.

ΔT = variación de temperatura.

Antes de realizar el cálculo, se requiere especificar algunos valores propios del sistema de pasteurización que utiliza en la hacienda “Las Vaquitas”.

Flujo masico de leche $\dot{m} = 1,2kg/s$

Flujo masico de agua $\dot{m} = 2kg/s$

Calor especifico Agua = 4,1813 cp Leche = 0,93 cp

Por lo tanto, se realiza el análisis al intercambiador de calor, con relación a la temperatura de entrada y salida.

Flujo masico de leche $\dot{m} = 1,2kg/s$

Calor especifico Leche = 0,93 cp

temperatura salida de leche = 73°C

temperatura caldera = 90°C

temperatura de entrada de leche = 4°C

$$\dot{Q}H = \dot{m} \cdot cp \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$\dot{Q}H = (1,2)(0,93)(73 - 4)$$

$$\dot{Q}H = 77 [Kw]. \quad \text{Coeficiente de transferencia de calor de los líquidos.}$$

Con el valor del coeficiente de transferencia, se procede a calcular la temperatura de recirculación en la caldera.

Flujo masico de agua $\dot{m} = 2\text{kg/s}$

Calor especifico $\text{Agua} = 4,1813\text{ cp}$

$$\dot{Q}H = \dot{m} \cdot cp \cdot \Delta T \tag{1}$$

$$\dot{Q}H = (2)(4,18)(t2 - 90) \tag{1}$$

$$t2 = \frac{\dot{Q}H}{(2)(4,18)} + 90 \tag{2}$$

$$t2 = \frac{-77}{8,36} + 90 \tag{2}$$

$t2 = 80,8^\circ\text{C}$. *Temperatura de recirculación
de agua – intercambiador.
de agua – intercambiador.*

2.5.2 COMPONENTES DE AUTOMATIZACIÓN.

En esta propuesta se necesita instalar los elementos ya descritos con anterioridad, para cada elemento se detalla las configuraciones y su función a realizar en el proceso de pasteurización dando como resultado un sistema lógico confiable y eficiente. Como parte de la instrumentación básica, se utiliza pulsadores (normalmente abiertos, normalmente cerrados) para el inicio del sistema, luces pilotos para indicar la condición o estado en el que se encuentra actualmente y selector de tres posiciones para establecer en qué estado se encuentra el usuario, ya sea de modo manual, automático o remoto.

2.5.2.1 Controlador de temperatura DELTA modelo DTB4848.

Este tipo de controladores tienen una respuesta de salida rápida, permitiendo alcanzar un control eficiente del sistema, está encargado de medir continuamente la temperatura,

por medio de una termocupla tanto de la caldera como de la leche, estos están conectados en la parte trasera del controlador, como se detalla en la configuración de la tabla # , cuando la señal eléctrica es recibida por la termocupla, esta es procesada y a su vez convertida en una dato de temperatura, siendo enviada por la red Ethernet hacia el controlador (PLC).

Este equipo posee registros internos donde guarda la información de todos los procesos que realiza (lectura y escritura).

- **Registro 44097:** valor actual obtenido por la termocupla – lectura.
- **Registro 44098:** valor de Set Point de temperatura asignado por el usuario – escritura.

La comunicación entre el PLC y el controlador de temperatura, es por medio de una red MODBUS, la cual se configura correctamente los siguientes parámetros mostrados en la tabla 6.

PARAMETROS	VALOR	FUNCION
	J	Asignación del tipo de termocupla a utilizar.
	On/Off	Selección del modo de control.
	RTU	Selección de variante del MODBUS.
	9600	Velocidad de transmisión de datos.
	1, para la caldera. 2, para la leche de entrada. 3, para el tanque de salida.	Selección del número de esclavo o dirección para la comunicación MODBUS.
	8	Configuración de los bits de datos.
	none	Configuración del bit de paridad.

Tabla 6: Parámetros de configuración de controlador de temperatura. Elaborado por el autor.

2.5.2.2 Controlador Lógico Programable PLC.

Para realizar la estructura lógica del sistema, primero es necesario reconocer la estructura de comunicación empleada para la propuesta, esta se muestra en la siguiente figura por medio de un diagrama de bloques, ver figura 13.

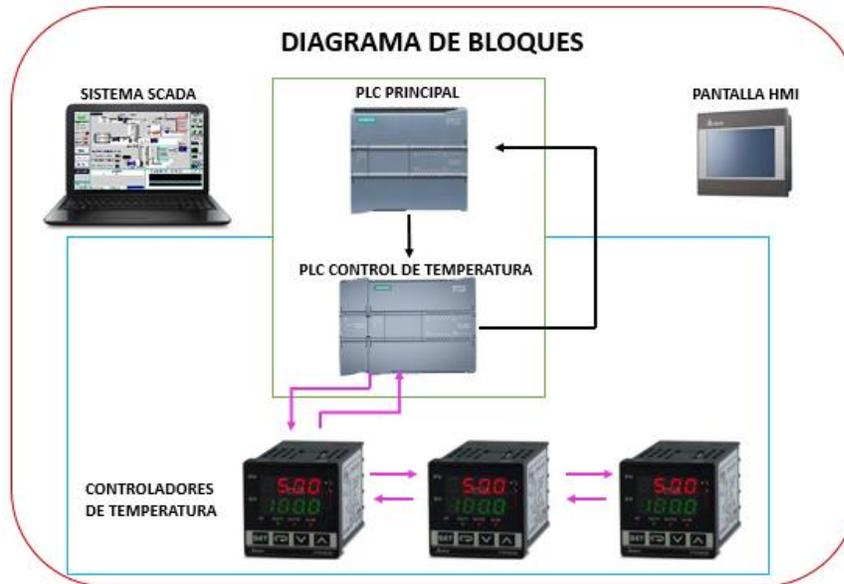


Figura 13: Diagrama de bloque físico. Elaborado por el autor.

Para el desarrollo de esta propuesta se emplean dos PLC, en las figuras 14 y 15 se muestra en el diagrama topológico.

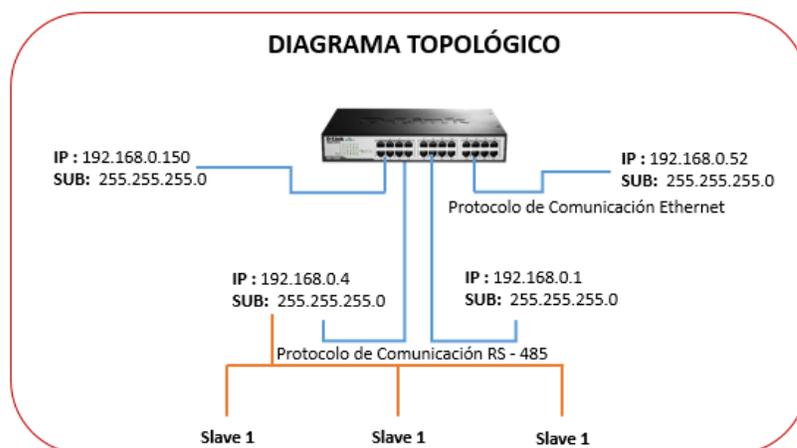


Figura 14: Diagrama topológico del sistema. Elaborado por el autor.



Figura 15: Diagrama topológico físico del sistema. Elaborado por el autor.

En el diagrama topológico, muestra que el PLC inicial, es el PLC Master, encargado de dar las instrucciones a los demás dispositivos, de forma secuencial de todo el proceso de pasteurización de leche. Para esto se requiere de una configuración específica tanto en el PLC principal como en el PLC secundario, por medio de software TIA PORTAL. En la tabla 7 se detalla las siguientes configuraciones.

OBSERVACIÓN

Para que estos dispositivos tengan comunicación entre sí, se requiere activar en las propiedades del dispositivo en el programa TIA PORTAL, en la opción protección permitir la comunicación PUT/GET.

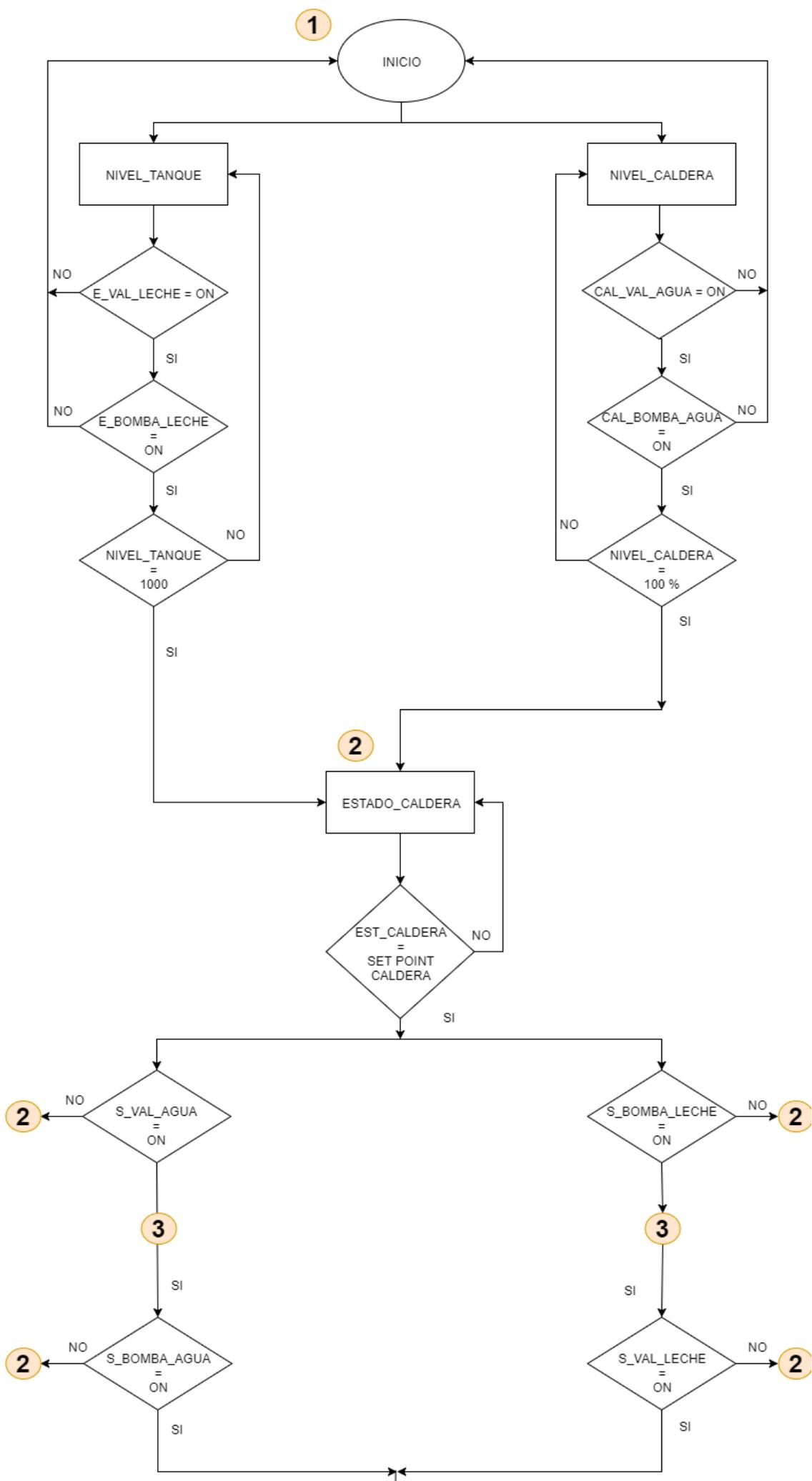
MODELO DEL PLC	NOMBRE DEL PLC	DIRECCIÓN IP/ MASCARA DE RED	FUNCIÓN
SIMATIC – S7 1200 1212C AC/DC/RLY	MASTER	192.168.0.1/ 255.255.255.0	PLC principal, encargado de realizar todas las tareas paso a paso del proceso de pasteurización.
	TEMPERATURA	192.168.0.4/ 255.255.255.0	PLC encargado del envío y recepción de datos del controlador de temperatura por medio de la red MODBUS.

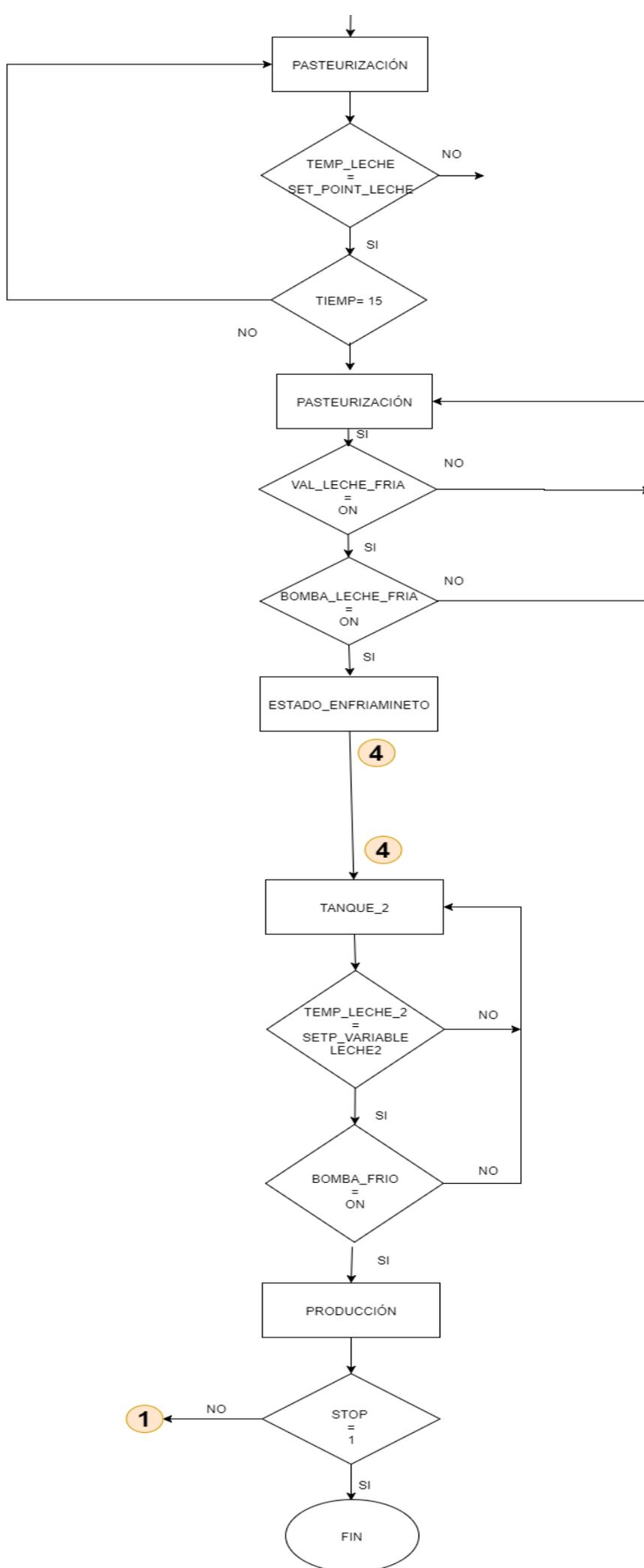
Tabla 7: Direcciones IP y funciones de PLC. Elaborado por el autor.

2.5.2.3 LÓGICA DE PROGRAMACIÓN PARA EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN.

A continuación, se muestra la lógica diseñada a través de un diagrama de flujo para el sistema SCADA del proceso de pasteurización de leche.

En el diagrama de flujo se ilustra las secuencias del proceso de pasteurización de leche, que se ordena de la siguiente forma: inicio de llenado de tanque 1 y caldera, calentamiento de caldera, pasteurización de leche y enfriamiento.





Después de mostrar el diagrama de flujo se procede a describir la lógica programable diseñada para este sistema.

2.5.2.4 SEGMENTOS DE PROGRAMACIÓN PARA PLC MASTER

SEGMENTO 1: ESTADO DEL SELECTOR.

Para el diseño del sistema, como primer punto se establece los estados del mismo; manual, automático y remoto, estos activan por medio de un selector en el módulo de control. Véase en anexo 1, Seg 1.

SEGMENTO 2: ENCENDIDO DEL SISTEMA.

En este segmento de programación, se realiza el encendido y apagado del sistema, y del sub proceso de llenado de tanques, dependiendo del estado en que se encuentre el usuario:

Estado manual y Estado automático: por medio de botoneras se realiza el encendido/apagado del sistema, encendido/apagado del llenado de tanques.

Estado remoto: a través de SCADA se activa el sistema y el encendido/apagado del llenado de tanques. Como muestra en la figura del anexo 1, Seg 2.

SEGMENTO 3: CONTROL DEL PRIMER TANQUE PARA EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN.

En este segmento, para el llenado del primer tanque, se activan la bomba y válvula, para determinar el nivel del mismo cuenta con 2 sensores de nivel, estos sensores activan indicadores, llevando el control del estado (vacío / lleno). Existe tres modos, para activar el llenado y vaciado del primer tanque, en modo manual, de forma automática, y remota. Para cualquiera de los 3 modos este proceso no funciona sin antes realizar los inicios del sistema. En modo manual y remoto el llenado y vaciado del primer tanque lo realiza el operario ya sea en la planta de trabajo o por medio del sistema SCADA, en modo automático, hace uso de los sensores de nivel, de tal manera

que cuando llegue a su nivel máximo se cierra la válvula de entrada al tanque 1 se desenergiza la bomba de entrada al tanque 1 y viceversa. La descripción de la programación de este segmento se detalla en el anexo 1, seg 3.

SEGMENTO 8: CONTROL DE LLENADO DE LA CALDERA.

Este segmento, permite abrir o cerrar la electroválvula y encender o apagar la bomba para el llenado de la caldera, funciona de igual forma que el llenado del tanque 1 de leche, la diferencia que este recircula por el intercambiador cuando la caldera llegue a una temperatura designada (SET POINT) activando las válvulas y bombas de salida de la caldera. Véase en el anexo 1, seg 8.

SEGMENTO 5: CONTROL DE LLENADO DEL SEGUNDO TANQUE DE LECHE PARA LA PASTEURIZACIÓN.

El control de estado del tanque 2, tiene similar lógica de programación al control de llenado de caldera, se abre la electroválvula y se enciende la bomba cuando la temperatura de leche en el intercambiador sea igual al set point designado, y empieza a llenarse el tanque 2, para proceder a enfriarse, si la leche no cumple con la temperatura deseada, el producto no pasa al siguiente proceso y se mantiene en el intercambiador. Su lógica de programación se detalla en el anexo 1, seg 5.

SEGMENTO 11: INDICADOR DE CALDERA.

Este segmento muestra los estados que se encuentra la temperatura de la caldera, si la temperatura, es próxima, ideal, o excedida, si la temperatura es ideal el agua de la caldera pasa al intercambiador y recircula normalmente, si la temperatura de la caldera esta excedida el sistema se apaga indicando que la caldera esta sobrecalentada, para poder continuar con el proceso, se debe esperar que la temperatura de la misma disminuya. Este se detalla en el anexo 1, seg 11.

SEGMENTO 17: INDICADOR DE PRESIÓN DE CALDERA.

La lógica de esta programación consiste, si el nivel de caldera se consume, la presión va aumentando, hay tres parámetros donde se define cuando la caldera está a presión normal o no, del mismo modo, si la temperatura es excedida, la presión también lo está y el sistema se apaga totalmente, esta se detalla en el anexo 1, seg 17.

SEGMENTO 24: FALLAS DE SISTEMA Y ALARMAS.

Para la simulación y demostración del sistema lógico de pasteurización, ha sido programada las alarmas más sobresalientes del proceso.

Estas alarmas son configuradas y visualizadas en la pantalla HMI, tienen una configuración de acuerdo a representaciones de bit, cuando se activa una alarma también debe activarse el bit correspondiente, por ejemplo si se desea encender la alarma 3 se debe ingresar un valor decimal equivalente al 3er bit encendido, como se detalla en la tabla 8 y su programación en el anexo 1, seg 24.

VALOR DECIMAL	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
BIT	7	6	5	4	3	2	1
ALARMA 2	0	0	0	0	1	0	0

Tabla 8: Representación de alarmas en Bits. Elaborado por el autor.

Entonces, para activar la alarma 3 es valor 4, el cual debe activarse a la variable “ALARMA”, programada en el PLC.

2.5.2.5 SEGMENTOS DE PROGRAMACIÓN PARA PLC SLAVE – CALENTAMIENTO.

Este PLC realiza la función de medir continuamente las temperaturas en cada etapa del proceso de pasteurización, para llevar un control efectivo de las mismas.

SEGMENTO 1: APERTURA DEL MÓDULO DE COMUNICACIÓN MODBUS.

Para habilitar el módulo MODBUS RS485 se necesita del bloque MB_COMM_LOAD, en este bloque se configuran los siguientes parámetros como se muestra en la tabla 9:

PARÁMETROS	VALORES	FUNCIÓN
REQ.	“FirstScan”.	Ejecuta la instrucción.
PORT.	269.	Puerto de comunicación
BAUD.	9600.	Velocidad de transferencia.
PARITY.	0: sin paridad.	Paridad de datos.
MB_DB.	“MB_MASTER_TEMPERATURA CALDERA”.	Bloque de datos de instancia. (MASTER).

Tabla 9: Parámetros de configuración para habilitación de módulo Modbus. Elaborado por el autor.

SEGMENTO 3: CONFIGURACIÓN DE SET POINT EN LOS CONTROLADORES DE TEMPERATURA.

En este bloque se realiza las configuraciones para el control de temperatura, tanto de escritura y de lectura por medio de la comunicación RS485. Estas configuraciones se las realiza en los tres controladores de temperatura a utilizar. Como se muestra en el anexo 1, plc Slave, seg 3.

SEGMENTO 4: PRESIÓN DE CALDERA.

Para simular el valor de entrada de presión, se realiza por medio de un potenciómetro, el valor ingresa con un valor equivalente al voltaje del potenciómetro, este debe ser convertido y escalado por medio de los bloques NORMAL_X Y SCALE_X, para obtener un valor entero, ver en anexo1. PLC Slave segmento 4.

2.5.2.6 CONFIGURACIÓN DEL KEPSERVEREX 6.

En la presente propuesta tecnológica, se utiliza el servidor kepserverex 6 para la comunicación en el PLC y el computador.

Para que el servidor funcione de forma óptima, se debe realizar las siguientes configuraciones:

- Configuración del canal.
- Configuración del dispositivo.
- Configuración de variables y Gateway.

CONFIGURACIÓN DEL CANAL.

En la pantalla inicial del programa se selecciona **CLICK TO ADD A CHANNEL**, se despliega una nueva ventana donde se escoge el tipo de canal, nombre del canal; y el adaptador de red:

- **Tipo de canal:** Siemens TCP/IP Ethernet.
- **Nombre del canal:** Channel.
- **Adaptador de red:** Default.

Siendo estos los únicos parámetros a modificar, dando por finalizado la creación del canal, ver figura 16

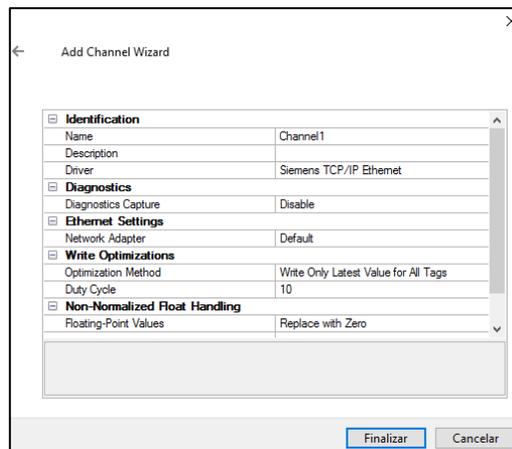


Figura 16: Configuración de canal de comunicación. Elaborado por el autor.

CONFIGURACIÓN DEL DISPOSITIVO

Cuando se concluye con la creación del canal, aparece una nueva ventana, dando clic en **CLICK TO ADD A DEVICE**, en esta etapa se establece una dirección Ip al dispositivo para su respectiva comunicación con el PLC.

- **Nombre del dispositivo:** Device.
- **Modelo:** S7-1200.
- **Ip del dispositivo:** 192.168.0.1.
- **Ip del ordenador:** 192.168.0.150.

Como se muestra en la siguiente figura 17:

Identification	
Name	Device1
Description	
Channel Assignment	Channel1
Driver	Siemens TCP/IP Ethernet
Model	S7-1200
ID	192.168.0.1

Operating Mode	
Data Collection	Enable
Simulated	No

Scan Mode	
Scan Mode	Respect Client-Specified Scan Rate
Initial Updates from Cache	Disable

Figura 17: Configuración del dispositivos. Elaborado por el autor.

CONFIGURACIÓN DE VARIABLES Y GATEWAY.

En esta opción, se direccionan todas las variables necesarias para que el sistema SCADA realice las funciones programadas. En esta ventana, véase figura 18, se debe llenar de forma obligatoria las siguientes opciones:

Nombre de la variable: El usuario le asigna un nombre apropiado a la variable.

Dirección de la variable: entradas: IB, salidas: QB, memorias: MB y bloque de datos: DB.

Tipo de variable: sea de tipo byte, boolean, Word, Dword, entre otros.

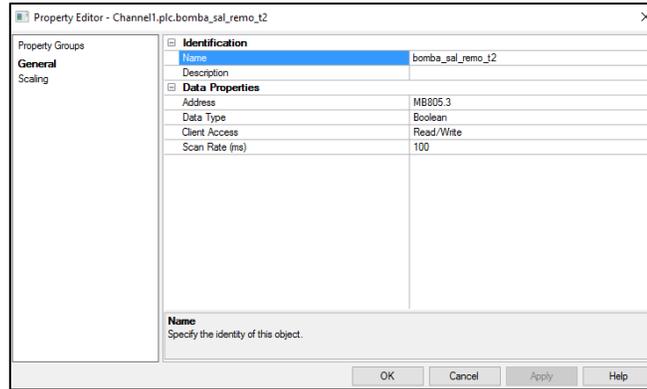


Figura 18: Configuración del GATEWAY. Elaborado por el autor.

Para la configuración del Gateway y lograr la comunicación entre el PLC y el software Intouch, se configura el **ALIASES** en el mismo, para posteriormente configurar el **ACCESS NAME** en el software Intouch, ver figura 19.

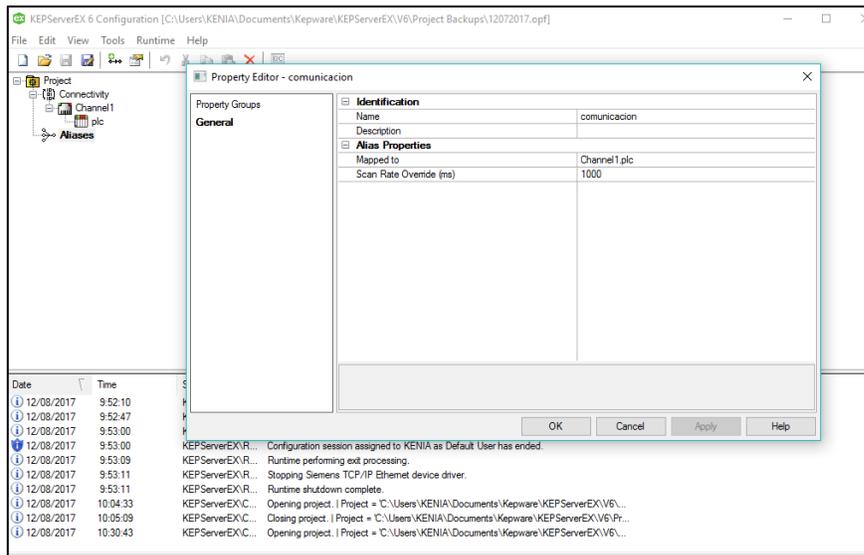


Figura 19: Configuración de ALIASE. Elaborado por el autor.

2.5.2.7 PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA SCADA.

CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE DE DISEÑO PARA EL SISTEMA SCADA - WONDERWARE INTOUCH.

Para el enlace de comunicación entre PLC y WONDERARE INTOUCH, se deben tener presente los parámetros definidos en el servidor, los cuales sirven para la presente configuración.

- Configuración Access name.
- Configuración Tagname.

CONFIGURACIÓN ACCESS NAME.

En la pantalla principal del programa Intouch, se escoge en la barra de menú, la opción **Special**, seguidamente muestra la ventana **Access Name**, se toma la opción **Add**, en donde se configura el TOPIC NAME y APPLICATION NAME.

Aquí se toma en cuenta las configuraciones del ALIAS del servidor, el nombre de TOPIC NAME de ser exactamente al nombre del mismo, como se muestra en la figura 20.

The screenshot shows a dialog box titled 'Access Name' with the following fields and options:

- Access:** A text box containing 'enlace'.
- Node Name:** An empty text box.
- Application Name:** A text box containing 'server_runtime'.
- Topic Name:** A text box containing 'comunicacion'.
- Which protocol to use:** Three radio buttons: 'DDE' (unselected), 'SuiteLink' (selected), and 'Message Exchange' (unselected).
- When to advise server:** Two radio buttons: 'Advise all items' (unselected) and 'Advise only active items' (selected).
- Enable Secondary Source:** An unchecked checkbox.

Buttons on the right side include 'OK', 'Cancel', and 'Failover'.

Figura 20: Configuración de ACCES NAME. Elaborado por el autor.

CONFIGURACIÓN TAGNAME.

En la figura 21 se visualiza la forma de definir una variable en el software Wonderware Intouch, los parámetros importantes a definir son:

- Asignación de nombre de variable.
- Tipo de variable.
- Dirección de variable.
- Definición de Access name.

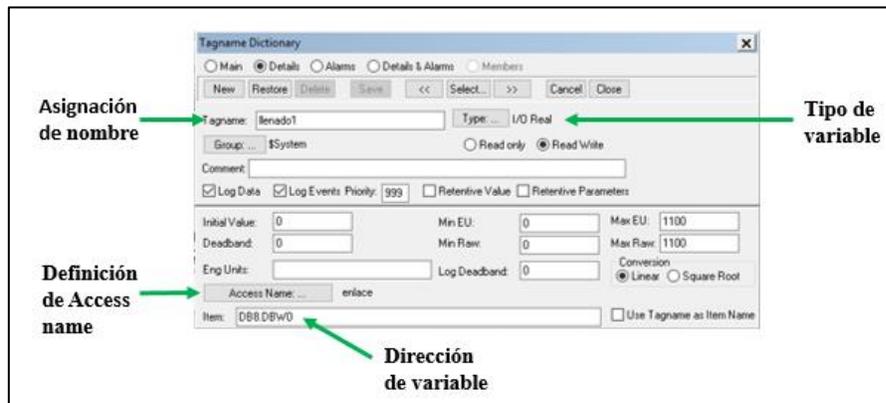


Figura 21: Configuración de TAG NAME. Elaborado por el autor.

2.5.2.8 DISEÑO DE SISTEMA SCADA DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE.

PANTALLA DE INICIO DEL SISTEMA.

En el inicio del sistema se muestra una ventana de iniciar sesión, véase figura 22, esta solicita un usuario y contraseña para poder ingresar a la pantalla principal del proceso, existen tres usuarios que pueden ingresar al sistema SCADA: supervisor, administrador y operario.

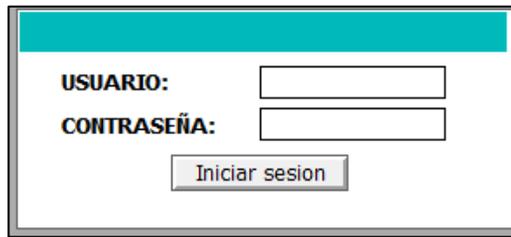


Figura 22: Pantalla inicio de sistema SCADA. Elaborado por el autor.

PANTALLA PRINCIPAL DEL SISTEMA DE PASTEURIZACION – SUPERVISOR.

Esta pantalla, figura 23, muestra el proceso completo de pasteurización de leche, con las siguientes partes:

- Menú del sistemas
- Indicadores del proceso.
- Proceso de pasteurización.
- Alarmas.

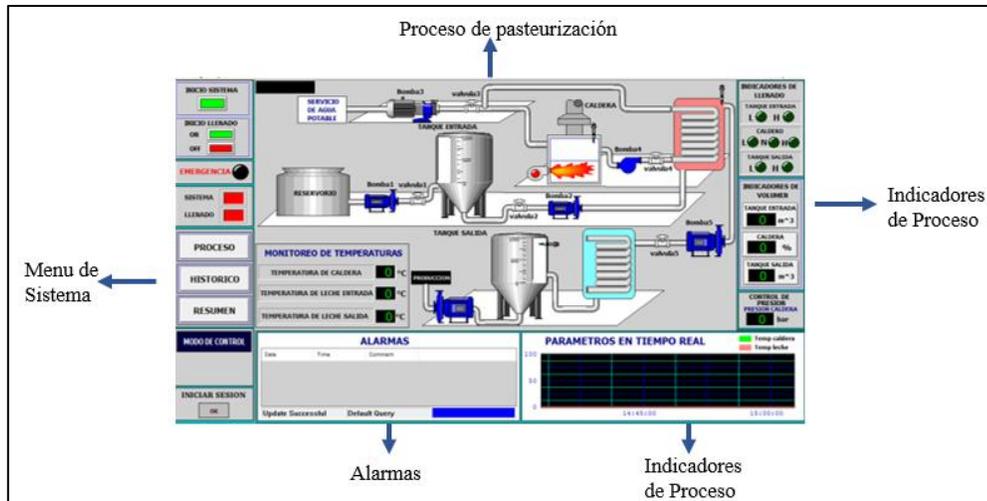


Figura 23: Pantalla Principal SCADA. Elaborado por el autor.

PANTALLA PRINCIPAL DEL SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN – ADMINISTRADOR.

Para el usuario ADMINISTRADOR, en la parte inferior de la pantalla, figura 24, se despliega un menú de opciones nuevas, donde se muestran los parámetros de operación de los controladores de temperatura, véase figura 25, cabe resaltar que aunque en el sistema no se visualice, el administrador también es el encargado de activar electroválvulas y bombas de forma remota cuando este lo considere necesario, cuando se culmine cualquier modificación se requiere cerrar sesión para que el proceso continúe automáticamente.

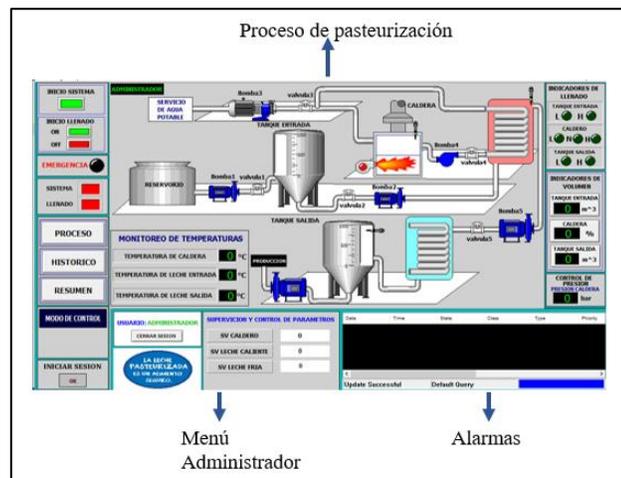


Figura 24: pantalla principal modo administrador SCADA. Elaborado por el autor.



Figura 25: Menú administrador SCADA. Elaborado por el autor.

MENÚ DEL SISTEMA

En la figura 26 se observa las opciones de menú del sistema SCADA:

- **Proceso:** Visualización del proceso de pasteurización de forma automática.
- **Históricos:** Histogramas de todas las variables utilizadas en el proceso.
- **Resumen:** Especificaciones técnicas de los equipos que se utilizan en el proceso de pasteurización.



Figura 26: Menú del sistema. Elaborado por el autor.

PROCESO

En este ítem, se muestra la pantalla principal del supervisor, a continuación por medio de la figura 27, se detalla las partes del proceso en las siguientes secciones:

Sección 1: Ejecución del proceso de pasteurización de forma remota.

- ***Inicio del sistema:*** encendido del proceso de pasteurización.
- ***Inicio de llenado de tanque:*** encendido y apagado del llenado de tanque de entrada de leche.
- ***Activación de electroválvulas:*** apertura y cierre de las mismas para el llenado o vaciado de tanque de entrada y salida del proceso.
- ***Activación de bombas:*** encendido y apagado de las mismas para el llenado y vaciado de los tanques, estado ON/OFF.

Sección 2: Barra de indicadores.

- **Indicadores de llenado:** En esta parte se observa si los tanques y caldera se están llenando y vaciando correctamente por medio de sensores.
- **Indicadores de volumen:** Indica la cantidad de producto que los reservorios contienen.
- **Indicadores del sistema:** muestra activo el sistema, llenado de tanque, y el led de apagado de emergencia.
- **Valor de presión de caldera:** Determina si la caldera está operando de forma normal o esta sobrecalentada.

Sección 3: Cuadro de alarmas.

En este panel se reflejan todos los componentes del sistema cuando cualquiera de ellos presente algún fallo, como rebose de tanques, sensores y bombas en malas condiciones, entre otros.

Sección 4: Monitoreo de temperaturas.

El monitoreo de las temperaturas, es fundamental en el diseño de este sistema SCADA, visualizando la adquisición de datos en tiempo real, de esa forma se supervisa que variables más sobresalientes del sistema estén en su correcto funcionamiento.

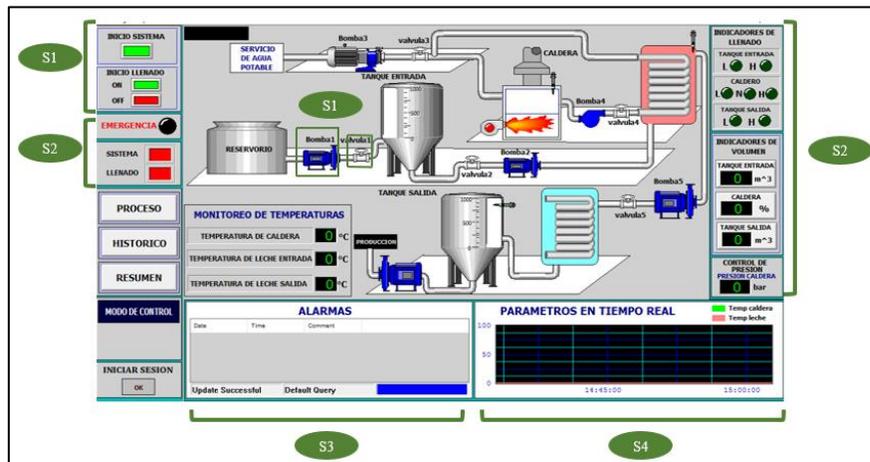


Figura 27: Monitoreo del sistema SCADA. Elaborado por el autor.

HISTÓRICO

Una vez iniciado el sistema, en la opción de históricos se puede visualizar el comportamiento de todas las variables que se utilizan en el sistema, a diferencia del histograma en tiempo real, este recopila información, a partir de la fecha y hora que el usuario requiera, esta información se puede guardar dando clic en **Save To File**, y en la carpeta del software se crea un archivo Excel donde se actualiza todos datos a utilizar, por medio de tablas, como se muestra en la figura 38.



Figura 28: Ventana de histórico de datos SCADA. Elaborado por el autor.

RESUMEN

En esta opción se presentan los datos técnicos de los dispositivos eléctricos que se utiliza en el proceso de pasteurización, y a la vez reflejan si los dispositivos se encuentran función o no. En la figura 29 muestra el diseño de esta ventana.



Figura 30: Pantalla de proceso en HMI. Elaborado por el autor.

Pantalla de proceso de calentamiento.

En la figura 31, se observa el proceso completo de calentamiento con sus respectivos indicadores: control de temperaturas, niveles de tanque, control de presión, indicador de estado de sistema y un botón de inicio.

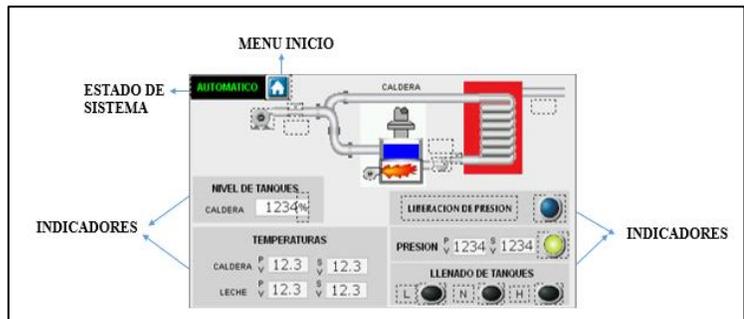


Figura 31: Monitoreo del proceso de calentamiento HMI. Elaborado por el autor.

Pantalla de menú administrador.

La siguiente pantalla figura 32, está conformada por tres botones, los cuales indican los parámetros que el administrador puede controlar en el modo manual, recalcando que una vez culminada la modificación de los parámetros, se debe cerrar sesión del usuario ingresado.



Figura 32: Menú administrador HMI. Elaborado por el autor.

Pantalla control de caldera.

Dentro de esta pantalla, se observan dos secciones, donde ambos muestran los parámetros de operación que se pueden modificar del control de la caldera, por medio de cuadros numéricos, también indicadores del estado de la misma, la sección se adiciona un monitor analógico para temperatura, la sección 2 cuenta con dos indicadores para el control presión, y display numéricos donde se refleja la temperatura leída por la termocupla. Se muestra en la figura 33.



Figura 33: Control de temperatura y presión de caldera HMI. Elaborado por el autor.

Control de temperaturas de la leche.

En la figura 34, se aprecian dos secciones, constan de monitores analógicos, indicadores led y numéricos donde se refleja la temperatura leída por la termocupla, y cuadros numéricos para modificar los set point de las temperaturas de leche.



Figura 34: Control de temperaturas de reservorios de leche HMI. Elaborado por el autor.

Pantalla operador.

La siguiente pantalla, muestra la parte inicial del proceso de pasteurización, el operador puede de activar las electroválvulas y bombas de forma manual para el llenado del primer tanque, la figura 35 detalla gráficamente.



Figura 35: Monitoreo de proceso de llenado de tanque de Forma manual HMI. Elaborado por el autor.

Para activar electroválvulas y bombas se da clic en el gráfico de las mismas, y aparece una subventana como muestra la figura 36.



Figura 36: Activación de bomba y electroválvula HMI. Elaborado por el autor.

Pantalla historial de alarmas.

En esta pantalla, figura 37, se presentan las alarmas originadas por fallos, que pueden ocurrir en el transcurso del proceso de pasteurización, estas muestran cuando se activa y desactivan las fallas.



Figura 37: Historial de alarmas HMI. Elaborado por el autor.

2.6 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

2.6.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA.

El estudio de factibilidad técnica realizado en este proyecto de grado es para demostrar la viabilidad del mismo, se implementó un sistema SCADA para el control y supervisión del proceso de pasteurización de la leche de vaca, con el fin de mejorar las condiciones técnicas, disminuyendo los tiempos de producción, brindando seguridad y calidad del producto, dando como resultado productividad y competitividad en el mercado.

La hacienda “Las Vaquitas” actualmente cuenta con un sistema de proceso de pasteurización básica, utilizando componentes elementales, pero por la falta de conocimiento del avance de las tecnologías posee una carencia de los equipos adecuados para su producción. Sin embargo esta cuenta con una infraestructura física e instalación eléctrica conveniente para montar el área de control y supervisión para el correcto funcionamiento de los componentes mencionados (motores y electroválvulas).

Para la implementación de este proyecto se realizó un estudio de equipos, materiales, normas de diseños, protocolos de comunicación, cumpliendo requerimientos básicos y

relevantes para diseñar e implementar un sistema SCADA para el proceso de pasteurización de leche, optimizando el control y supervisión del mismo, mediante el uso de equipos electrónicos y herramientas tecnológicas.

Se considera aplicar las normas ISA 101 para el diseño del sistema SCADA, instalar dispositivos tales como Switch, PLC, módulo de comunicación Modbus, pantalla HMI, controladores de temperatura y sensores de temperatura.

Para lograr la comunicación entre los dispositivos mencionados se propone utilizar la interfaz física Ethernet y el protocolo modbus RS485, además una interfaz de comunicación llamada OPC, gracias a la cual se realizan los enlaces entre equipos a nivel de campo y los diferentes equipos a nivel de control y supervisión, en este proyecto se utiliza el OPC de la marca Kepware OPC-KEPSERVER.

El estudio de la factibilidad técnica evalúa dos puntos importantes que comprende el proyecto, la parte física (hardware) y la parte intangible (software).

Se emplea el controlador lógico programable PLC Siemens S7-1200 porque es una de las tecnologías que más se sobresaen en el ámbito industrial, ya que ofrece flexibilidad y potencia para controlar una gran cantidad de dispositivos, consta de aplicaciones múltiples y se adapta a distintas realidades permitiendo a los usuarios resolver eficientemente las tareas designadas.

El modbus RTU es un protocolo de serial abierto, este realiza una fácil interconexión de equipos del nivel de campo en la automatización, como controladores, actuadores, sensores que se utilizan para un proceso de industrialización.

Por ello la elección del controlador de temperatura marca delta se adapta eficientemente con el modulo, este contiene una interfaz de comunicación opcional RS-485 (Modbus ASCII – RTU), además ofrece una respuesta rápida de los set point que interviene en el proceso y se lo adquiere a un accesible costo en el mercado de automatización industrial

Wonderware Intouch a pesar de tener costos altos de licencia, cumple con las normativas legales correspondientes y se escoge por su agilidad operativa, múltiples opciones de virtualización, permitiendo al usuario visualizar y controlar el proceso de la planta en tiempo real ya que posee con la tecnología gráfica más perfeccionada del mercado para la visualización de procesos que ningún otro HMI pueda brindar.

Se emplea OPC-KEP ServerEX por ser líder de conectividad en el sector, dando facilidad al usuario para monitorear, controlar y conectar con varios dispositivos de automatización y software por medio de una interfaz, asegurando la confiabilidad y facilidad de uso al usuario u operador.

Para demostrar el funcionamiento óptimo del sistema SCADA, se realiza la implementación del diseño, además de la programación del controlador lógico (PLC) en los módulos del laboratorio de automatización industrial de la facultad.

La disponibilidad dentro del territorio nacional de los equipos, repuestos, módulo de expansión se obtienen sin necesidad de hacer gastos de importación, cuenta el personal adecuado para brindar asesoría al cliente e instalación de los mismos.

A continuación se realiza algunas comparaciones de componentes escogidos vs componentes de venta en el sector industrial.

CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES.

En la tabla 10 de comparaciones de controladores lógicos, se puede apreciar que el primer controlador lógico no cumple con las características apropiadas para el desarrollo del sistema, el segundo, MicroLogix es el microcontrolador más completo en el mercado, pero por su alto costo no cumple con la viabilidad de este proyecto, tomando como opción indicada la elección del PLC Siemens S7-1200, que cumple con todos los requerimientos necesarios y tiene un accesible precio en el mercado Ecuatoriano.

LOGO (módulo lógico universal de Siemens)	MicroLogix 1400	PLC S7-1200
<ul style="list-style-type: none"> • Entradas digitales I1 hasta I24. • Entradas analógicas AI1 hasta AI8. • Salidas digitales Q1 hasta Q16. • Salidas analógicas AQ1 y AQ2. • Marcas digitales M1 hasta M24, M8: marcas de arranque. • Marcas analógicas AM1 hasta AM6. • Bits de registro de desplazamiento S1 hasta S8. • teclas de cursor. • 16 salidas no conectadas X1 hasta X16. 	<ul style="list-style-type: none"> • Expanda sus capacidades de aplicación con hasta 7 módulos de E / S de ampliación para un máximo de 256 E / S discretas • Hasta 6 contadores de alta velocidad integrados de 100 kHz (en controladores con entradas de cc) • puertos serie con soporte de protocolo DF1 / DH485 / Modbus RTU / DNP3 / ASCII • El puerto Ethernet le proporciona soporte de protocolo EtherNet / IP, DNP3 sobre IP y protocolo Modbus TCP / IP, así como funciones de servidor web y correo electrónico • LCD incorporado con retroiluminación le permite ver el controlador y el estado de E / S, y proporciona una interfaz sencilla para mensajes, monitoreo y manipulación de bits / enteros 	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidad disponible (SM y bus CM): 1000 mA máx. (5 V DC) • Intensidad disponible (24V DC): 300 mA máx. (Alimentación de sensores) • Consumo de corrientes de las entradas digitales (24V CC): 4 mA / entrada usada • E / S digitales integradas: 8 entradas / 6 salidas • E / S analógicas integradas: 2 entradas • Tamaño de la imagen: 1024 bytes de entradas (I) / 1024 bytes de salidas (Q) • Área de marcas (M): 4096 bytes • Ampliación con módulos de señales: 2 SMs máx. • Módulo de comunicación: PROFIBUS Maestro / esclavo, comunicación GPRS, AS-i y más sistemas Fieldbus.

Tabla 10: Comparación de controladores lógicos. Elaborado por el autor.

OPC

En la tabla 11 se realiza la comparación de las especificaciones técnicas de tres servidores OPC, visualizando que Master Bus300 y OPC Server Matrikon no poseen los mismos beneficios que ofrece las características del OPC KEPLER.

MASTER BUS300	OPC SERVER MATRIKON	KEPWARE
<ul style="list-style-type: none"> • Admite los objetos STATUS del sistema Advant Controller. • Sólo un bloque de datos por objeto aunque se utilicen múltiples tipos de suscripción • Las referencias a las bases de datos lógicas se almacenan en una configuración de servidor para una puesta en marcha rápida. • Estado e información del sistema disponibles en el explorador de árbol de la herramienta eléctrica. • Configuración automática del servidor desde el cliente. • Compatibilidad con redes redundantes Masterbus 300 en un servidor OPC. • Soporte para cualquier cliente OPC. • OPC Data Access 2.05. • Alarmas y eventos OPC. • Visualización de eventos de proceso y de sistema con marca de tiempo del controlador 	<ul style="list-style-type: none"> • Hardware para PC • La configuración de hardware necesario es: Procesador Intel Pentium 4 512 MB de RAM, 32 MB de espacio de HD, Lector de CD-ROM • Super VGA (800 × 600) o mayor resolución de monitor • Hardware del dispositivo • Cualquier dispositivo de comunicación serie como PLC, cromatógrafos de gas, lectores de códigos de barras, impresoras, básculas, etc. • Cualquier dispositivo o aplicación que admita la comunicación TCP / IP • Software para PC • Versiones del Sistema Operativo Windows soportadas por el Servidor OPC: <ul style="list-style-type: none"> • Windows 2000 • Windows XP • Windows 2003 • Las características incluyen: <ul style="list-style-type: none"> • Compatibilidad con DDE • Alias de nombres de etiqueta • Motor de cálculo 	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz de cliente nativo de FastDDE / SuiteLink • FastDDE es un formato DDE definido por Wonderware Corporation que permite transferir grandes cantidades de datos entre aplicaciones a mayor velocidad (y con mejor manejo de errores) que DDE genérico. • SuiteLink es un método de comunicación cliente / servidor que ha tenido éxito con FastDDE. Es basado en TCP / IP y ha mejorado el ancho de banda y la velocidad. • Alarmas y eventos OPC (AE) • Usando el estándar, los clientes AE pueden recibir alarmas y avisos de eventos para los límites de seguridad del equipo, errores del sistema y otras situaciones anormales. • Versiones compatibles: 1.0 y 1.10 • Simple Network Management Protocol (SNMP) es un protocolo desarrollado por la Junta de Arquitectura de Internet para intercambiar información entre dispositivos de red.

Tabla 11: Comparación de OPC. Elaborado por el autor.

WONDERWARE INTOUCH

Se tomó en consideración las características técnicas descritas en la tabla 12, para demostrar que este software de instrumentación grafica es el apropiado para la implementación de esta propuesta.

Requisitos del sistema SO del cliente	<ul style="list-style-type: none"> • SP1 Professional, Enterprise, Ultimate (32/64 bit) • Microsoft Windows 8, 8.1 y 10 Professional y Enterprise (32/64 bit) • Windows 10 Embedded, Standard, Enterprise
Requisitos del sistema SO del servidor	<ul style="list-style-type: none"> • Microsoft Windows 2008 R2 SP1 Standard y Enterprise (32/64-bit) • Microsoft Windows 2008 R2 SP1, 2012 y 2012 R2 Embedded (32/64-bit) • Microsoft Windows Server 2012 y 2012 R2 Standard y Data Center (32/64-bit)
Soporte de virtualización	<ul style="list-style-type: none"> • Hyper-V® (basado en la versión del SO compatible) • VMWare® vSphere 5.0 y 6.0 • VMWare Workstation 7.x a 11.x
Cumplimiento de normativas y soporte	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte para seguridad integrada de Microsoft, Active Directory y tecnología SmartCard • Riesgo reducido de intervención y cambios no autorizados en el sistema • En sectores regulados y validados, las aplicaciones de InTouch le ayudan a cumplir los requisitos de seguridad más exigentes, como FDA 21 CFR Parte 11

Tabla 12: Comparación de software de instrumentación gráfica. Elaborado por el autor.

En conclusión, por medio de las comparaciones realizadas se demuestra que los dispositivos y software sugeridos son convenientes en la implementación de esta propuesta con precios asequibles al cliente, razón por la cual esta propuesta es técnicamente viable.

2.6.2 FACTIBILIDAD ECONÓMICA.

Realizar el estudio de factibilidad financiera con el fin de determinar el monto de inversión para la implementación y ejecución de un sistema SCADA para el proceso de pasteurización de leche, considerando recursos tangibles e intangibles. A continuación se detallan costos de equipos, materiales y mano de obra utilizados en la implementación de este proyecto.

COSTO DE EQUIPOS

En la tabla 13 se visualiza el costo de cada equipo utilizado en la implementación del sistema SCADA, obteniendo como resultado de costo total de equipos de \$ 7.834,69.

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Switch Industrial CSM1277	\$ 240,00	\$ 240,00
1	Pantalla Delta 4.3" 480X272 65536 Colores Wide Screen TFT LCD. LED BACKLIGHT	\$ 419,19	\$ 419,19
1	Módulo de Comunicación Siemens CM1241 RS485.	\$ 257,00	\$ 257,00
3	Control de temperatura DTB4848VRE	\$ 104,52	\$ 313,56
2	CPU 1212C AC/DC/Relé	\$ 473,00	\$ 946,00
3	TERMOCUPLA TIPO J	\$ 6,98	\$ 20,94
1	Computador	\$ 1500,00	\$ 600,00
1	Licencias Siemens TCP/IP Ethernet	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
1	Licencias Kepserverex 6 Intouch	\$ 438,00	\$ 438,00
1	Licencia Wonderware Intouch	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
TOTAL COSTO DE EQUIPOS			\$ 7.834,69

Tabla 13: Costos de equipos para la implementación del sistema SCADA. Elaborado por el autor.

COSTO DE MATERIALES

A continuación se detallan los materiales utilizados en el montaje del módulo de control.

- Gabinete de pared 7UR
- Canaletas.
- Borneras.
- Elementos de protección.
- Riel Longitud 1m.
- Pulsadores rojos.
- Pulsadores verdes.
- Luz piloto rojo.
- Luz piloto verde.
- Contactores NC
- Contactores NA.
- Cables UTP 5e.

El costo total de materiales utilizados en la instalación del módulo de control es de \$288,20, como se detalla en la tabla 14:

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Gabinete de pared 7UR	\$ 187,00	\$ 187,00
1	Canaletas	\$ 6,05	\$ 6,05
1	Borneras	\$ 3,74	\$ 3,74
1	Elementos de protección.	\$ 60,00	\$ 60,00
1	Riel Long 1M.	\$ 2,47	\$ 2,47
1	Pulsador rojo	\$ 1,51	\$ 1,51
1	Pulsador verde	\$ 1,51	\$ 1,51
1	Luz piloto roja	\$ 1,38	\$ 1,38
1	Luz piloto verde	\$ 1,38	\$ 1,38
1	Contactador NC	\$ 0,58	\$ 0,58
1	Contactador NA	\$ 0,58	\$ 0,58
100	Metros de Cable UTP cat 5e	\$ 0,22	\$ 22,00
TOTAL COSTO DE MATERIALES			\$ 288,20

Tabla 14: Costos de materiales de instalación. Elaborado por el autor.

COSTO DE MANO DE OBRA

A continuación en la tabla 15 se detalla el costo total de mano de obra:

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Diseño y desarrollo de software del sistema	\$ 7.000,00	\$ 7.000,00
1	Implementación y montaje del módulo de control	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
1	Gastos varios	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
TOTAL COSTO DE MANO DE OBRA			\$ 13.000,00

Tabla 15: Costos de mano de obra de implementación del sistema SCADA. Elaborado por el autor.

COSTO FINAL

Este valor representa el gasto generado por los equipos, materiales y mano de obra que son empleados para la implementación del sistema SCADA, obteniendo como resultado el valor total de inversión de \$ 21.122,89 como se detalla en la tabla 16.

EQUIPOS	\$ 7.834,69
MATERIALES	\$ 288,20
MANO DE OBRA	\$ 13.000,00
TOTAL DE INVERSIÓN	\$ 21.122,89

Tabla 16: Costos totales de implementación. Elaborado por el autor.

Análisis de costo de producción del litro de leche.

Para realizar el análisis de costo de producción del litro de leche se toma como referencia el valor de 0,42ctvs [21].

El precio de venta actual de leche pasteurizada que ofrece la hacienda “Las Vaquitas” es de 0,70ctvs por litro, a continuación se presenta una tabla comparativa del costo de producción por litro de leche con el sistema actual, se muestra en la tabla 17:

	SISTEMA SEMI-INDUSTRIAL
Volumen de producción esperado	3000 litros
Volumen de producción real	2800 litros
Gastos de producción	\$ 1.260,00
Cantidad de trabajadores	4
Sueldos de trabajador (diario)	\$ 63,33

Tabla 17: Datos actuales de producción de la Hacienda

Se obtiene el total de los gastos de producción diaria:

$$\text{Gastos diarios totales} = \text{gastos de producción} + \text{sueldos (diarios)}$$

$$\text{Gastos diarios totales} = 1260 \text{ USD} + 63,33 \text{ USD} \quad (3)$$

$$\text{Gastos diarios totales} = \mathbf{1323,33 \text{ USD}}$$

Donde el costo de producción de litro de leche es equivalente a:

$$\text{Costo de producción por litro de leche} = \frac{\text{gastos diarios totales}}{\text{volumen de producción}} \quad (4)$$

$$\text{Costo de producción por litro de leche} = \frac{\$1323,33}{2800} \quad (4)$$

$$\text{Costo de producción por litro de leche} = \mathbf{0,4726 \text{ ctvs.}}$$

A continuación el valor de ventas de producción se obtiene de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Período de tiempo – 1 año.
- Volumen de producción – 806400 litros.

- El valor de venta por el litro de leche – 0,70 centavos.

$$Ventas\ anuales = 0,70 * 806400 \quad (5)$$

$$\mathbf{Ventas\ anuales = 564.480,00\ USD.}$$

Para el cálculo de los gastos totales se considera el valor de los gastos diarios totales \$1323,33 por la cantidad de días que se trabaja al año.

$$Gastos\ totales\ anuales = 1323,33 * 24 * 12 \quad (6)$$

$$\mathbf{Gastos\ totales\ anuales = 381119,04\ USD.}$$

Obteniendo como utilidad neta la diferencia entre ventas anuales y gastos anuales:

$$\mathbf{Utilidad\ neta = 183.360,96\ USD.}$$

Con la implementación del sistema SCADA se propone que la planta de pasteurización trabaje con un mínimo de pérdidas durante el proceso, lo que permite realizar una proyección de producción como se muestra en la siguiente tabla 18.

	SISTEMA SCADA
Volumen de producción esperado	3000 litros
Volumen de producción	2960 litros
Gastos de producción	\$ 1.260,00
Cantidad de trabajadores	2
Sueldos de trabajador (diario)	\$ 40,83

Tabla 18: Datos sugeridos para la producción de la Hacienda. Elaborado por el autor

Se estima un total de gastos de producción diaria de:

$$Gastos\ diarios\ totales = gastos\ de\ producción + sueldos\ (diarios)$$

$$Gastos\ diarios\ totales = 1260\ USD + 40,83\ USD \quad (7)$$

$$\mathbf{Gastos\ diarios\ totales = 1300,83\ USD}$$

Donde el costo de producción de litro de leche sea de:

$$\text{Costo de producción por litro de leche} = \frac{\$1300,83}{2800} \quad (8)$$

$$\text{Costo de producción por litro de leche} = 0,4395 \text{ ctvs.}$$

Por consiguiente se realiza la siguiente proyección de venta de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Período de tiempo – 1 año.
- Volumen de producción – 852480 litros.
- El valor de venta por el litro de leche – 0,70 centavos.

$$\text{Ventas anuales} = 0,70 * 852480 \quad (9)$$

$$\text{Ventas anuales} = 596736,00 \text{ USD.}$$

Para el cálculo de los gastos totales se considera el valor de los gastos diarios totales \$1323,33 por la cantidad de días que se trabaja al año.

$$\text{Gastos totales anuales} = 1300,83 * 24 * 12 \quad (10)$$

$$\text{Gastos totales anuales} = 374639,04 \text{ USD.}$$

Obteniendo como utilidad neta la diferencia entre ventas anuales y gastos anuales:

$$\text{Utilidad neta} = 222096,96 \text{ USD.}$$

Se realiza un análisis sencillo de costo – beneficio para determinar si la propuesta determina una conveniente inversión, por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{VAI}{VAC} \quad (11)$$

Donde:

$\frac{B}{C}$: *índice neto de rentabilidad.*

VAI

: *valor actual de los ingresos netos próximos (utilidad neta del sistema propuesto – utilidad neta del sistema actual) – 38.736 USD.*

VAC: valor actual de costos de inversión – 21.122,89 USD.

$$\frac{B}{C} = \frac{38.736,00 \text{ USD}}{21.122,89 \text{ USD}} \quad (11)$$

$$\frac{B}{C} = 1,83$$

Si $b/c > 1$ se concluye que el proyecto propuesto es rentable y factible para el proceso de pasteurización de leche, lo que permite visualizar que esta propuesta ejecutable.

2.7 PRUEBAS

Objetivo: Verificar la comunicación entre el PLC y el sistema SCADA Intouch.

Descripción: Manipulación de variables que deben ser reflejadas en los diferentes dispositivos.

PRUEBA 1: Se realiza la prueba con el sistema apagado donde las variables de entrada y salidas están con valor de cero, como muestra en la figura 19.

PRUEBAS DE COMUNICACIÓN PLC - KEPSERVEREX - PC					
CASO 1: Sistema Apagado.					
VARIABLES	VALOR	ESTADO	VARIABLES	VALOR	ESTADO
led_inicio	0	Good	valvulain_t1	0	Good
led_llenado	0	Good	valvulaout_t1	0	Good
pare_llenado	0	Good	valvulaint_t2	0	Good
Emergencia	0	Good	valvulain_caldera	0	Good
bombain_t1	0	Good	valvulaout_caldera	0	Good
bombaout_t1	0	Good	pv_temp_caldera	0	Good
bombain_t2	0	Good	PV_LECHE	0	Good
bombain_caldera	0	Good	pv_lechefria	0	Good
bombaout_caldera	0	Good	indicador_selector	0	Good

Tabla 19: Prueba de comunicación PLC - SCADA, caso 1. Elaborado por el autor.

PRUEBA 2: En la tabla 20 se analiza la variable: encendido del sistema *led_inicio*, mostrando valor de 1.

Es importante recalcar que si el valor de esta variable es cero, el sistema del proceso de pasteurización no entra a su ejecución.

PRUEBAS DE COMUNICACIÓN PLC - KEPSERVEREX - PC

CASO 2: Encendido del sistema.

VARIABLES	VALOR	ESTADO	VARIABLES	VALOR	ESTADO
led_inicio	1	Good	valvulain_t1	0	Good
led_llenado	0	Good	valvulaout_t1	0	Good
pare_llenado	0	Good	valvulaint_t2	0	Good
Emergencia	0	Good	valvulain_caldera	0	Good
bombain_t1	0	Good	valvulaout_caldera	0	Good
bombaout_t1	0	Good	pv_temp_caldera	0	Good
bombain_t2	0	Good	PV_LECHE	0	Good
bombain_caldera	0	Good	pv_lechefria	0	Good
bombaout_caldera	0	Good	indicador_selector	0	Good

Tabla 20: Prueba de comunicación PLC - SCADA, caso 2. Elaborado por el autor.

PRUEBA 3: La verificación de datos en el CASO 3, es fundamental ya que aquí se comprueba la comunicación que existe entre componentes del sistema.

En este caso se muestra la ejecución de la etapa 1 sistema del proceso de pasteurización, considerando las variables de bombas y válvulas: led_inicio, led_llenado, bombain_t1, bombain_caldera, valvulain_t1, valvulain_caldera, indicador_selector. En esta prueba se evidencia el llenado de tanque 1 y el llenado de la caldera, el proceso de llenado del tanque 1 y caldera se retrasa en ciertos momentos provocando un desfase en la transmisión y recepción de datos, pero no asegura que el sistema tenga algún fallo en su ejecución.

PRUEBAS DE COMUNICACIÓN PLC - KEPSERVEREX - PC					
CASO 3: Inicio de llenado.					
VARIABLES	VALOR	ESTADO	VARIABLES	VALOR	ESTADO
led_inicio	1	Good	valvulain_t1	1	Good
led_llenado	1	Good	valvulaout_t1	0	Good
pare_llenado	0	Good	valvulaint_t2	0	Good
Emergencia	0	Good	valvulain_caldera	1	Good
bombain_t1	1	Good	valvulaout_caldera	0	Good
bombaout_t1	0	Good	pv_temp_caldera	0	Good
bombain_t2	0	Good	PV_LECHE	0	Good
bombain_caldera	1	Good	pv_lechefria	0	Good
bombaout_caldera	0	Good	indicador_selector	1	Good

Tabla 21: Prueba de comunicación PLC - SCADA, caso 3. Elaborado por el autor.

PRUEBA 4: En esta prueba se verifica los valores de temperatura de la caldera, si los datos del termopar de la caldera son transmitidas al sistema SCADA, como muestra en la tabla 22, los datos con los que se hizo las pruebas valores de prueba, el valor de la temperatura con la que debe trabajar la caldera es de 90°C.

PRUEBAS DE COMUNICACIÓN PLC - KEPSERVEREX - PC					
CASO 4: Calentamiento de la caldera.					
VARIABLES	VALOR	ESTADO	VARIABLES	VALOR	ESTADO
led_inicio	1	Good	valvulain_t1	0	Good
led_llenado	1	Good	valvulaout_t1	0	Good
pare_llenado	0	Good	valvulaint_t2	0	Good
Emergencia	0	Good	valvulain_caldera	0	Good
bombain_t1	0	Good	valvulaout_caldera	0	Good
bombaout_t1	0	Good	pv_temp_caldera	35	Good

bombain_t2	0	Good	PV_LECHE	0	Good
bombain_caldera	0	Good	pv_lechefria	0	Good
bombaout_caldera	0	Good	indicador_selector	0	Good

Tabla 22: Prueba de comunicación PLC - SCADA, caso 4. Elaborado por el autor.

PRUEBA 5: El caso 5, es el más importante del proceso de pasteurización de leche, aquí si se consideró el valor correcto de la temperatura de la caldera pv_temp_caldera=90. Se controlan las variables mostradas en la tabla 23.

Para la medición de la temperatura de leche, este debe estar en el intercambiador del calor saliendo del tanque 1, la caldera estará activada recirculando agua y al mismo tiempo calentándose.

PRUEBAS DE COMUNICACIÓN PLC - KEPSERVEREX - PC					
CASO 5: Temperatura de leche.					
VARIABLES	VALOR	ESTADO	VARIABLES	VALOR	ESTADO
led_inicio	1	Good	valvulain_t1	0	Good
led_llenado	1	Good	valvulaout_t1	1	Good
pare_llenado	0	Good	valvulaint_t2	0	Good
Emergencia	0	Good	valvulain_caldera	1	Good
bombain_t1	0	Good	valvulaout_caldera	1	Good
bombaout_t1	1	Good	pv_temp_caldera	90	Good
bombain_t2	0	Good	PV_LECHE	73	Good
bombain_caldera	0	Good	pv_lechefria	0	Good
bombaout_caldera	1	Good	indicador_selector	0	Good

Tabla 23: Prueba de comunicación PLC - SCADA, caso 5. Elaborado por el autor.

PRUEBA 6: El caso 6 corresponde a la última etapa del proceso de pasteurización que es el enfriamiento.

Se controla las variables de encendido del sistema, activación de bombas y válvulas para el tanque 2, esto depende de los valores deseados de la temperatura de leche en el intercambiador asignados.

En la tabla 24 muestra un margen de error de ± 1 grado de diferencia menos en la temperatura de la caldera, esto se debe al lazo de histéresis del control on/off de la caldera para el calentamiento de la leche.

PRUEBAS DE COMUNICACIÓN PLC - KEPSERVEREX – PC					
CASO 6: Llenado de tanque leche 2.					
VARIABLES	VALOR	ESTADO	VARIABLES	VALOR	ESTADO
led_inicio	1	Good	valvulain_t1	0	Good
led_llenado	1	Good	valvulaout_t1	0	Good
pare_llenado	0	Good	valvulaint_t2	1	Good
Emergencia	0	Good	valvulain_caldera	0	Good
bombain_t1	0	Good	valvulaout_caldera	1	Good
bombaout_t1	0	Good	pv_temp_caldera	89	Good
bombain_t2	1	Good	PV_LECHE	73	Good
bombain_caldera	0	Good	pv_lechefria	0	Good
bombaout_caldera	0	Good	indicador_selector	0	Good

Tabla 24: Prueba de comunicación PLC - SCADA, caso 6. Elaborado por el autor.

2.8 RESULTADOS

Con las pruebas realizadas en la simulación de esta propuesta se observó que los valores obtenidos por parte del servidor KEPServerEX estuvieron acordes al funcionamiento lógico del proceso durante el periodo parcial de funcionamiento del OPC.

Los datos obtenidos de la transmisión y recepción de los controladores de temperatura resultan con un nivel favorable en la etapa del calentamiento teniendo un retardo de los datos en un tiempo estimado de 1 a 2 segundos.

Se determinó, mediante la ecuación de intercambio de temperatura de Bernoulli, que el coeficiente de transferencia de calor es de 77Kw , lo que implica que la temperatura de recirculación de agua $80,8^{\circ}\text{C}$, evitando una ralentización en el proceso de calentamiento de leche.

Una vez realizado el diseño de sistema SCADA y simulado en los módulos de control, se logró realizar un control remoto de los equipos de automatización, de usuarios de operación, generación de reportes, parámetros de temperatura con referencia de 70°C - 73°C , adquisición de datos en tiempo real de los mismos.

El sistema SCADA ejecutó de forma confiable el control y supervisión de datos a través de pruebas de comunicación entre el PLC y el mismo por medio del servidor OPC- KEPServerEX 6, verificando el comportamiento de las variables de entrada y salida de control tanto señales analógicas como digitales.

CONCLUSIONES

Durante la ejecución de la simulación del proceso de pasteurización no se registró pérdidas de paquetes de información, lo que permite determinar que la arquitectura mixta implementada presenta un 100% de eficiencia en términos de transmisión, en cuanto a eficiencia de tiempos se presenta una latencia de 1 a 2 segundos, tiempo que no afecta a la ejecución del proceso por lo tanto se considera aceptable este margen de tiempo.

El acceso al control y supervisión del proceso de pasteurización a través del sistema SCADA presenta interrupciones periódicamente cada 2 horas provocando pérdidas de datos a nivel de enlace remoto, debido a la falta de una licencia adecuada para el servidor OPC-KEPSERVEREX.

La interfaz hombre-máquina permite un control satisfactorio de temperaturas de trabajo del proceso de pasteurización, frente al control inexacto de los medidores de temperaturas analógicos proyectando un aproximado del 9% de disminución en las pérdidas de producción.

Dentro del ciclo de pruebas de transmisión de datos del enlace remoto del proceso de pasteurización se determinó que existe un 0% de pérdida de información entre el ordenador y el PLC dando como resultado una comunicación estable.

RECOMENDACIONES

Esta propuesta tecnológica es direccionada únicamente a la producción artesanal, teniendo en cuenta que para la correcta implementación del sistema, se da las siguientes recomendaciones:

La utilización de instrumentación industrial como cables adecuados para la comunicación Modbus utilizar cable SF/UTP apantallado cable para comunicación RS-485, para Ethernet utilizar cable para transmisiones de profinet con certificación UL y tasa de transmisión de 100 Mbit/s hasta 10 Gbits/s, categoría 7 y la implementación de un Switch industrial, con la finalidad de disminuir los tiempos de trasmisión.

La adquisición de una licencia autorizada para el funcionamiento de OPC-KEPSERVEREX, con el objetivo que no exista interrupción durante acceso remoto del proceso a través del sistema SCADA.

Para evitar la pérdida de información de los registros del proceso de pasteurización, se sugiere en un futuro instalar una unidad de respaldo de energía (UPS) para el respaldo de energía y así mantener los datos de producción intactos y alargar la vida útil del dispositivo.

El administrador encargado de supervisar el sistema SCADA, debe ser capacitado para el manejo del software de supervisión y control del proceso como de las herramientas ofimáticas.

Instalar un respaldo del servidor OPC- kepsserverex, para cubrir cualquier eventualidad presentada durante el funcionamiento del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Maquiclick (Maquinas Industriales). (2014). Los beneficios de utilizar el sistema de supervisión SCADA. 2014 de Maquiclick Sitio web: <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/los-beneficios-de-utilizar-el-sistema-de-supervision-scada/>
- [2] Mendoza Marcos. (2016). Evaluación de calidad y estabilidad a tres marcas de leche ultra pasteurizadas, envasada en funda de polietileno Sitio web: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12941/1/TESIS%20MARCOS%20MENDOZA%201.pdf>
- [3] Ponsa, P., & Granoller, T. (2009). Diseño Industrial: Diseño y Automatización Industrial. Universidad Politécnica de Cataluña.
- [4] RTA (Automatización en tiempo real). (2017). Modbus RTU Unplugged - Introducción a Modbus RTU Direccionamiento, Códigos de Función y Modbus RTU Redes. 2017, de RTA Sitio web: <http://www.rtaautomation.com/technologies/modbus-rtu/>
- [5] Universidad Nacional de Quilmes. (2013). Protocolo MODBUS. 2013, de IACI Ingeniería Aplicada en Construcciones Industriales Sitio web: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/transparencias/modbus.pdf>
- [6] EMB (Engineering in Medicine & Biology). (2011). Características de una red Ethernet Industrial. 2011, de Revista Electroindustria Sitio web: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1034>
- [7] Dr. Maurice Wilkins y Greg Lehmann. (2016). ISA101, Interfaces hombre-máquina. 2016, de ISA (Sociedad Internacional de Automatización) Sitio web: <https://www.isa.org/isa101/>

- [8] IACI, Ingeniería Aplicada en Construcciones Industriales. (2014). Introducción a HMI. 2014, de Universidad Nacional de Quilmes Sitio web: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>
- [9] IACI, Ingeniería Aplicada en Construcciones Industriales. (2014). Introducción a HMI. 2014, de Universidad Nacional de Quilmes Sitio web: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>
- [10] Jaume Romagosa Cabús, David Gallego Navarrete, Raúl Pacheco Porras. (2004). Sistemas SCADA. 2004, de Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Villanueva y Geltrú. Sitio web: https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2013-08-04_08-34-0840201-3452.pdf
- [11] González, D. (2002) Guía de intercambiadores de calor: tipos generales y aplicaciones. Universidad Simón Bolívar, departamento de termodinámica y fenómenos de transferencia.
- [12] Lema Katherine. (2013). Pasteurización de alimentos 2013, Universidad Técnica del Norte Sitio web: <http://es.calameo.com/read/0034307932ab2cbd5ea24>
- [13] Adolfo Ángel Pelayo Victorio. (2010). Tratamientos Térmicos. 2010, de Blogger Sitio web: <http://pasteurizacionyesterilizacion.blogspot.com/2010/04/pasteurizacion-la-pasteurizacion-es-un.html>
- [14] Violero Pérez, Gerardo. (2011). Pasteurización, Esterilización y UHT de la leche, de Madrid Sitio web: <https://cienciaycampo.wordpress.com/2011/03/13/pasterizacion-esterilizacion-y-uht/>
- [15] Pilicita Escobar Daniel Arturo. (2013). Diseño y construcción de un equipo para la pasteurización de leche. 2013, de QUITO/EPN/2013 Sitio web: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6747>.
- [16] Andrés Ricardo Pedraza Leguizamón. (2007). AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE EQUIPOS DE PROCESO Y LLENADO UHT/UAT (LARGA VIDA) EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

ALGARRA S.A. 2007, de Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería de Diseño & Automatización Electrónica. Sitio web: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16090/44011091.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

- [17] Gonzales Tinta. (2015). Diseño e implementación de un sistema automático para el proceso de pasteurización de leche. 2015, Escuela Politécnica Nacional. Sitio Web: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9110>
- [18] Vinza Ortiz Andrés Sebastián, Vire Daqui César Alfonso. (2011). “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE LÁCTEOS EN LA CIUDAD DE CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”. 2011, de ESPOCH Sitio web: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/999/1/85T00189.pdf>
- [19] Juan de Dios Contreras Cáceres, Karla Puerto López. (2014). Sistema SCADA para el proceso de pasteurización de jugos. 2014, de Dialnet Sitio web: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4966245>.
- [20] Villalba López Lenin, Echeverría Vecilla. (2012). Diseño e implementación de maquina automática multifunciones para obtener mermeladas, jugos de fruta pasteurizada. 2012, Universidad Politécnica Salesiana. Sitio web: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4506/1/UPS-GT000405.pdf>
- [21] Taboada Coyago Carlos. (2012). Determinación del costo de producción del litro de leche, en base a nivel de tecnología en hatos ganaderos de la zona de Cayambe y Pedro Moncayo. Sitio web: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1833/12/UPS-YT00100.pdf>
- Pasteurización de leche, detallada en el sitio http://www.portalechero.com/innovaportal/v/725/1/innova.front/proceso_de_pasteurizacion.html
- Daneri Pablo A. (2008) PLC Automatización y Control Industrial. ARGENTINA: Hasa
- N. MAYA, “Implementación de un sistema SCADA para el sistema de calentamiento de agua del edificio Manuela Sáenz” Memoria de título, Ing.

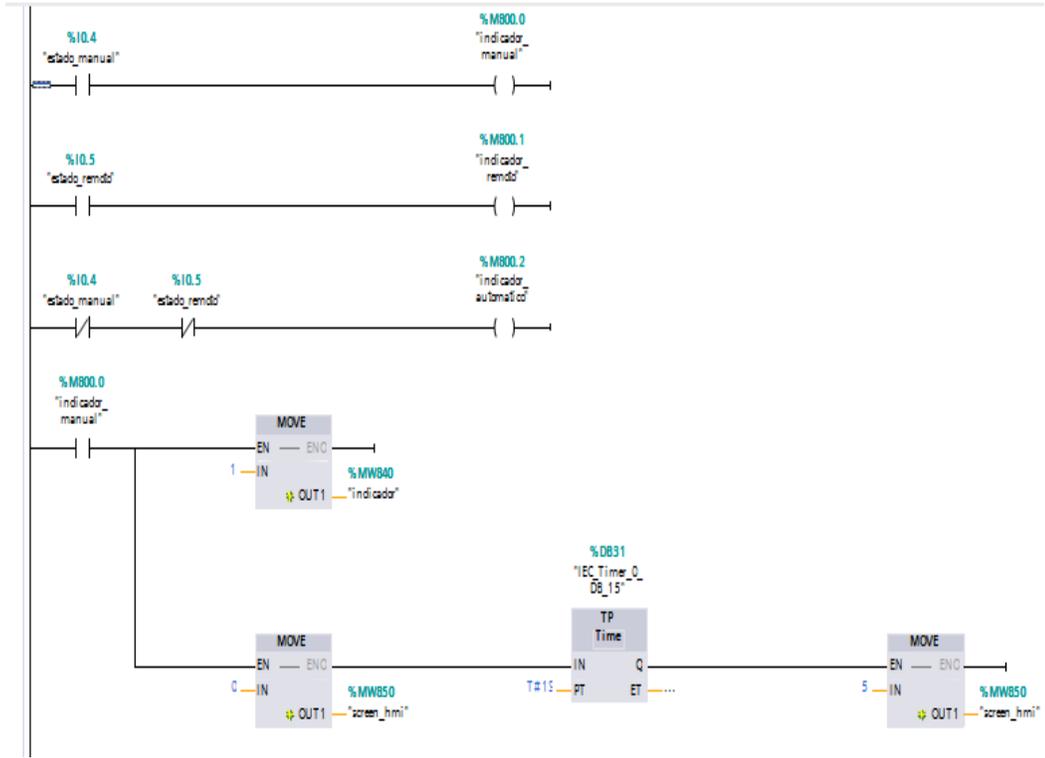
Eléctrico, Facultad de Ingeniería, Univ. Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.
Julio 2012.

- Normas de bibliográficas IEEE, detallada en el sitio http://www2.udec.cl/jose.espinosa/DIE/PMT/Biography_IEEE.pdf
- P. Cruz, “Pasteurización de leche a pequeña escala,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, Activities report, Jul. 2013.
- Aquilino Rodríguez Penin. (2012). Sistemas SCADA. Barcelona: Marcombo.

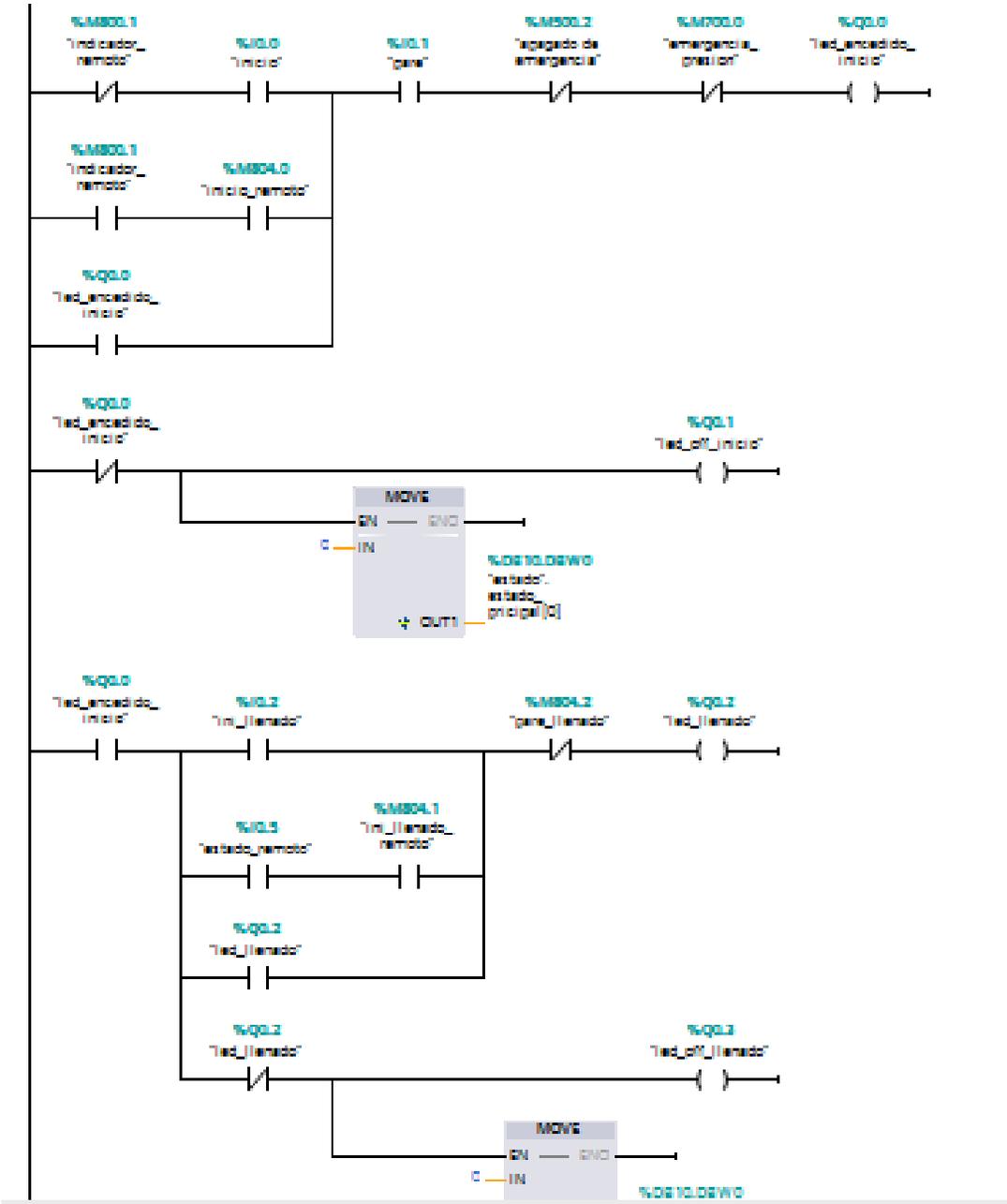
ANEXOS.

ANEXO 1: Descripción gráfica de la programación de TIA Portal.

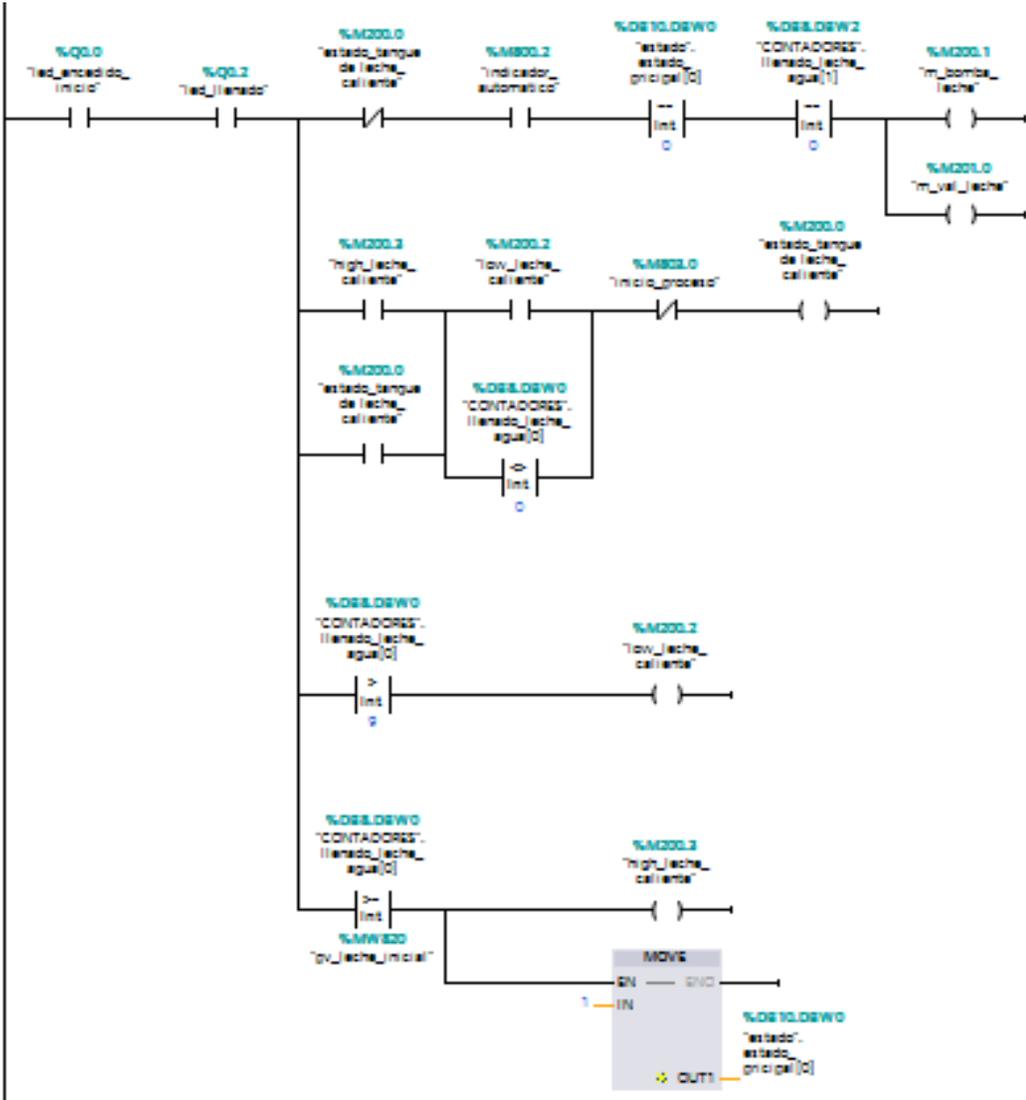
SEGMENTO 1: Programación estado del selector (automático, manual o remoto)



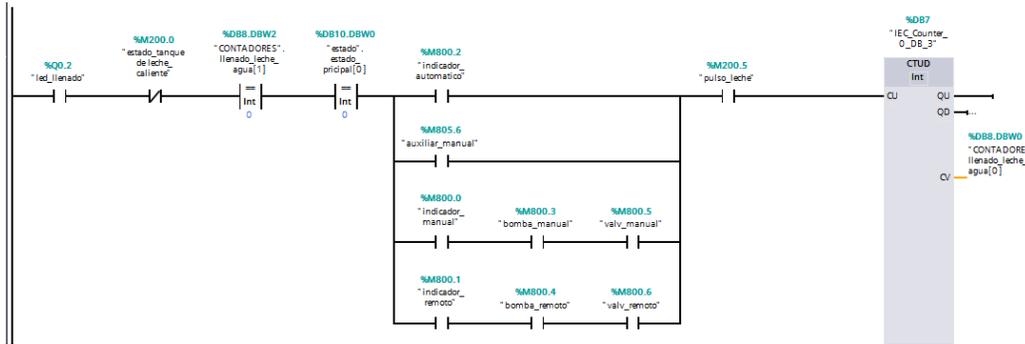
SEGMENTO 2: Programación de control de encendido del sistema.



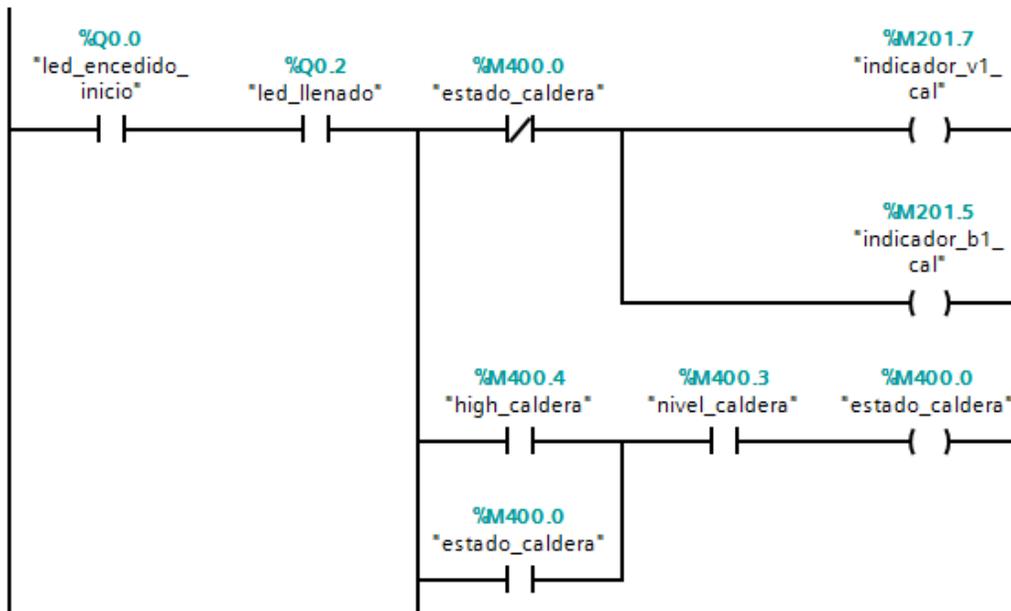
SEGMENTO 3: Control de nivel del primer reservorio de leche.



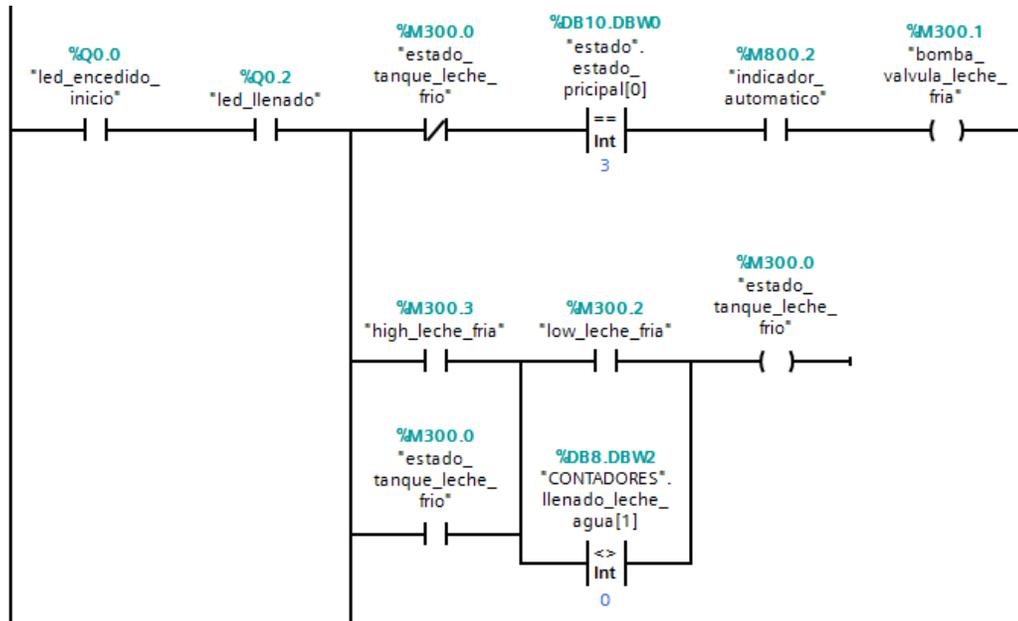
SEGMENTO 4: Programación de control de llenado del primer reservorio de leche.



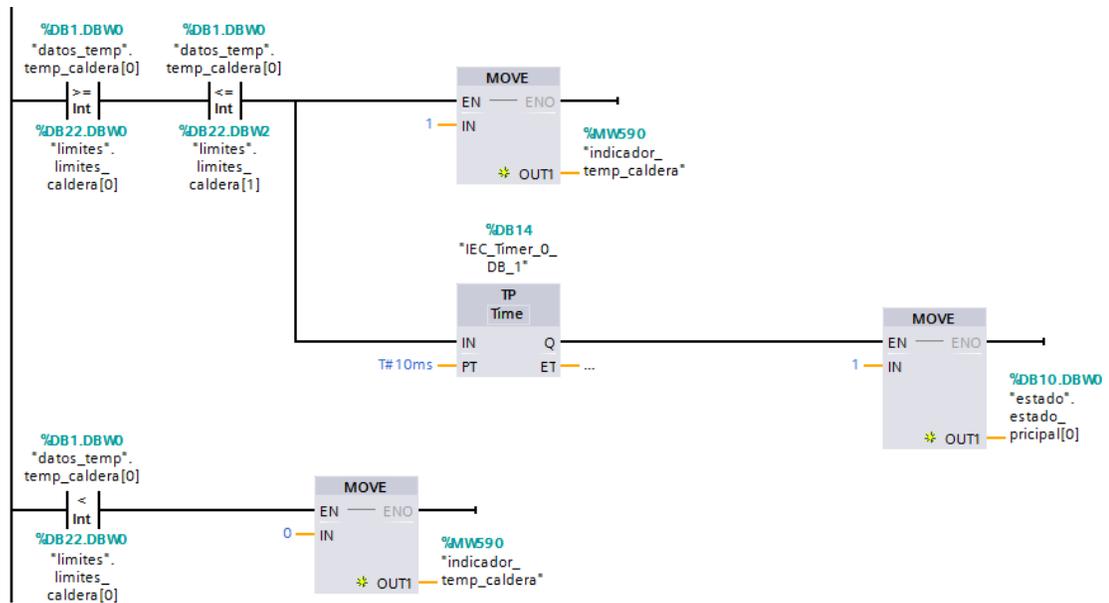
SEGMENTO 8: Programación de control de llenado de caldera.



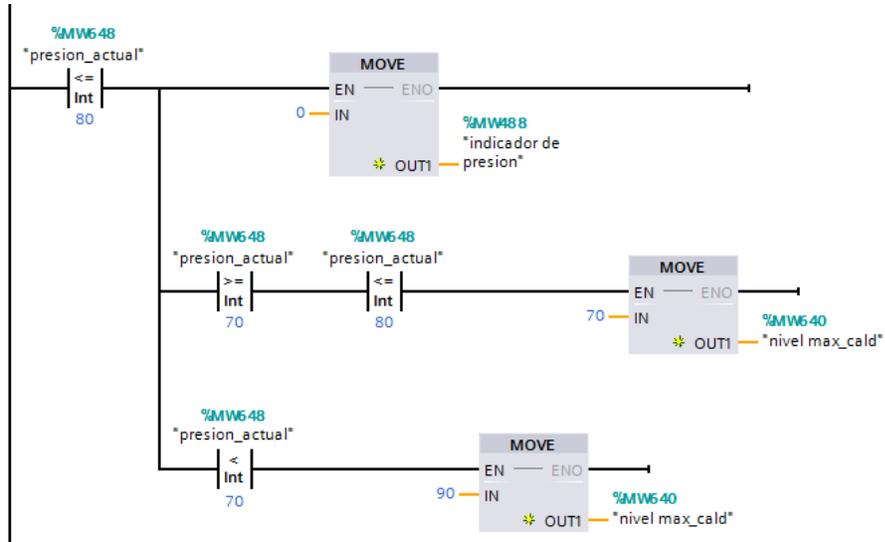
SEGMENTO 9: Programación de control de llenado de reservorio 2 de leche.



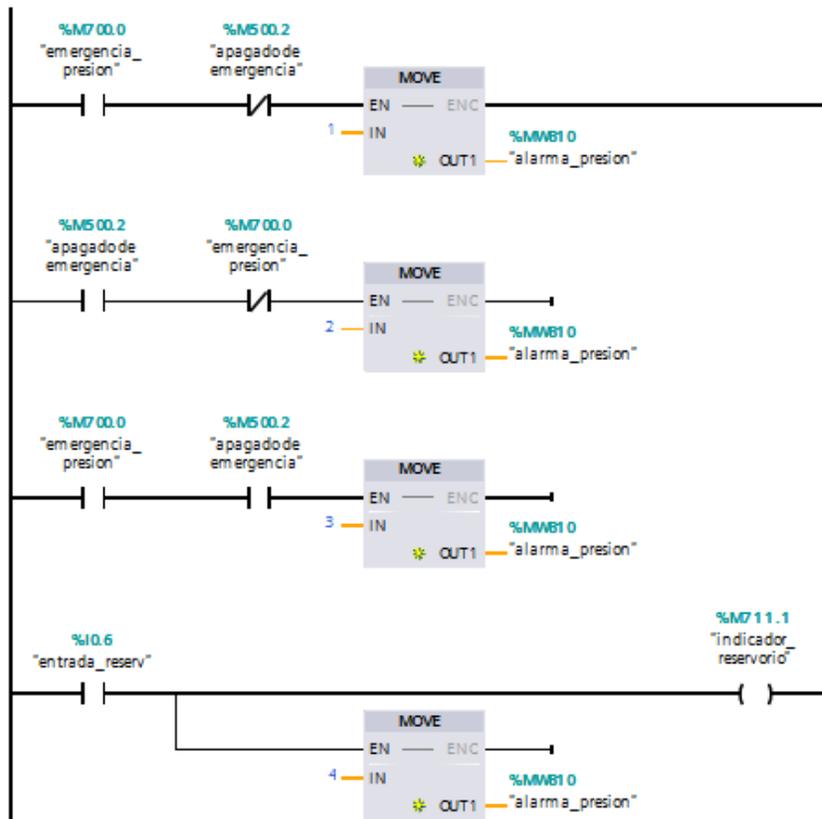
SEGMENTO 11: Programación de indicadores de caldera.



SEGMENTO 17: Programación de indicador de presión de caldera.

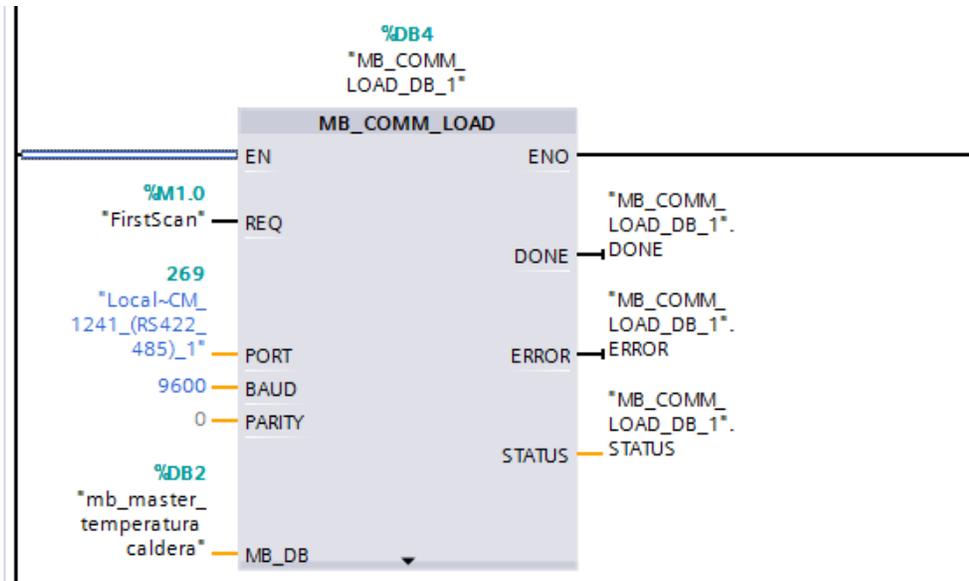


SEGMENTO 24: Programación de fallas de sistema y alarmas.

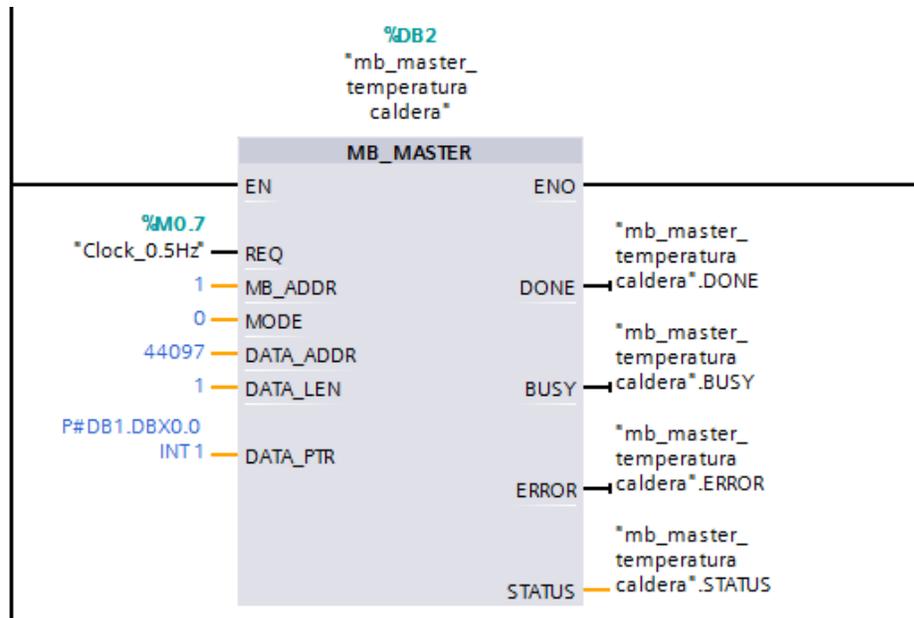


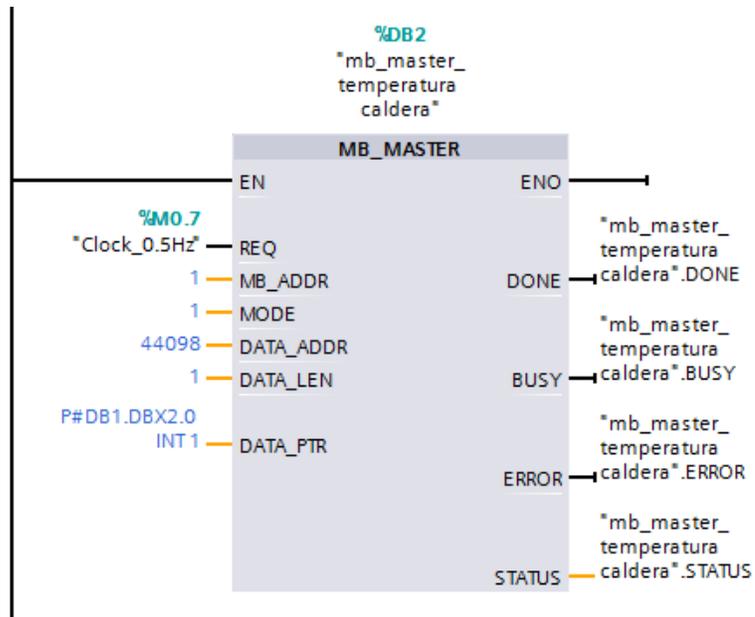
PLC SLAVE CALENTAMIENTO

SEGMENTO 1: Activación de módulo de comunicación Modbus.

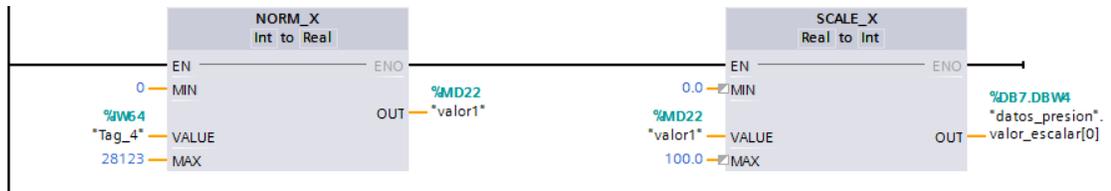


SEGMENTO 3: Configuración de Set Point de controladores de temperatura.





SEGMENTO 4: Programación para adquisición de datos de presión de caldera.



ANEXO 2: PROGRAMACIÓN DE WONDERWARE INTOUCH.

Windows Scripts de la Pantalla “Proceso”.

Animaciones de flujos.

```
IF bomba1_t1==1 THEN
  IF ain<100 THEN
    ain=ain+5;
  ENDIF;
  IF ain==100 THEN
    ain=0;
  ENDIF;
ELSE
  ain=0;
ENDIF;

IF bomba2_t1 THEN
  IF ainn1<100 THEN
    ainn1=ainn1+5;
  ENDIF;
  IF ainn1==100 THEN
    ainn1=0;
  ENDIF;
ELSE
  ainn1=0;
ENDIF;

IF bomba1_t2==1 THEN
  IF cout<100 THEN
    cout=cout+5;
  ENDIF;
  IF cout==100 THEN
    cout=0;
  ENDIF;
ELSE
  cout=0;
ENDIF;
```

Windows Scripts de la Pantalla “Menú”.

Activación de las pantallas en el estado remoto.

```
IF OK==1 AND remoto==1 THEN
Hide "PROCESO";
Show "INGRESO ADM";
ENDIF;

IF OK==1 AND remoto==0 THEN
Show "PROCESO";
Show "MENSAJE";
P2=P2+1;
IF P2==15 THEN
P2=0;
OK=0;
Hide "MENSAJE";
ENDIF;
ENDIF;
```

Programación de contraseña para el usuario SUPERVISOR, y activación de pantallas.

```
IF USUARIO=="SUPERVISOR" AND CONTRA=="1234" AND
inicio_sesion==1 THEN
Show "MENU";
Show "PROCESO";
Hide "INGRESO ADM";
salir=1;
inicio_sesion=0;
ENDIF;
IF OK==1 AND USUARIO=="SUPERVISOR" AND CONTRA=="1234"
THEN
USUARIO="";
CONTRA="";
ENDIF;
IF USUARIO=="SUPERVISOR" AND CONTRA <> "1234" AND
CONTRA <> "" AND inicio_sesion==1 THEN
Show "INGRESO ADM";
Show "MENSAJE 1";
P1=P1+1;
IF P1==10 THEN
Hide "MENSAJE 1";
CONTRA="";
USUARIO="";
P1=0;
inicio_sesion=0;
ENDIF;
ENDIF;
IF USUARIO <> "SUPERVISOR" AND CONTRA == "1234" AND
CONTRA <> "" AND inicio_sesion==1 THEN
Show "INGRESO ADM";
Show "MENSAJE 1";
P1=P1+1;
IF P1==10 THEN
Hide "MENSAJE 1";
CONTRA="";
```

Programación de contraseña para el usuario ADMINISTRADOR, y activación de pantallas.

```
IF USUARIO=="ADMINISTRADOR" AND CONTRA=="1992" AND
inicio_sesion==1 THEN
  Show "MENU";
  Show "PROCESO";
  Show "ADMINISTRADOR";
  Hide "INGRESO ADM";
  salir=1;
  inicio_sesion=0;
  OK=0;
ENDIF;

IF USUARIO=="ADMINISTRADOR" AND CONTRA <> "1992" AND
CONTRA<> "" AND inicio_sesion==1 THEN
  Show "PROCESO";
  Show "INGRESO ADM";
  Show "MENSAJE 1";
  P1=P1+1;
  IF P1==10 THEN
    Hide "MENSAJE 1";
    CONTRA="";
    USUARIO="";
    P1=0;
    inicio_sesion=0;
  ENDIF;
ENDIF;
```

```
IF USUARIO=="OPERARIO" AND CONTRA <> "4848" AND
CONTRA<> "" AND inicio_sesion==1 THEN
  Show "PROCESO";
  Show "INGRESO ADM";
  Show "MENSAJE 1";
  P1=P1+1;
  IF P1==10 THEN
    Hide "MENSAJE 1";
    CONTRA="";
    USUARIO="";
    P1=0;
    inicio_sesion=0;
  ENDIF;
ENDIF;
```

ANEXO 3: ENTRADAS Y SALIDAS DESDE EL KEPSERVEREX 6.

Variables del sistema SCADA 1.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
bomba_sal_remo...	MB805.3	Boolean	100	None	
bombain_caldera	MB201.5	Boolean	100	None	caldera
bombain_t1	MB201.1	Boolean	100	None	tanque1
bombain_t2	MB202.1	Boolean	100	None	tanque2
bombaout_caldera	MB201.6	Boolean	100	None	caldera
bombaout_t1	MB201.2	Boolean	100	None	tanque1
bombaout_t2	MB202.2	Boolean	100	None	tanque2
bomin_cal_rem	MB805.5	Boolean	100	None	remoto
bomout_cal_rem	MB805.4	Boolean	100	None	remoto
encendido/apag...	MB500.1	Boolean	100	None	caldera
indicador_bomba...	MB202.3	Boolean	100	None	
inicio_llenado	MB804.1	Boolean	100	None	
inicio_sistema	MB804.0	Boolean	100	None	boton
led_inicio	QB0.0	Boolean	100	None	indicador
led_llenado	QB0.2	Boolean	100	None	indicador
llenado_caldera	DB8.DBW4	Word	100	None	agua
llenado_tanque1	DB8.DBW0	Word	100	None	leche
llenado_tanque2	DB8.DBW2	Word	100	None	leche fria
nivel_sistema	DB25.DBW0	Word	100	None	
pare_llenado	MB804.3	Boolean	100	None	
presion	MW648	Word	100	None	
PV_LECHE	MD908	DWord	100	None	CALIENTE

Variabes del sistema SCADA 2.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
led_llenado	QB0.2	Boolean	100	None	indicador
llenado_caldera	DB8.DBW4	Word	100	None	agua
llenado_tanque1	DB8.DBW0	Word	100	None	leche
llenado_tanque2	DB8.DBW2	Word	100	None	leche fria
nivel_sistema	DB25.DBW0	Word	100	None	
pare_llenado	MB804.3	Boolean	100	None	
presion	MW648	Word	100	None	
PV_LECHE	MD908	DWord	100	None	CALIENTE
pv_lechefria	MD912	DWord	100	None	temperatura
pv_presion	DB3.DBW0	Word	100	None	entrada en bares
pv_temp_caldera	MD904	DWord	100	None	
set_lechecaliente	MW652	Word	100	None	
set_lechefria	MW654	Word	100	None	
setcaldera_remoto	MW650	Word	100	None	
SV_LECHE_C	DB1.DBW6	Word	100	None	set point
sv_temp_caldera	DB1.DBW2	Word	100	None	set_point
valin_cal_rem	MB806.0	Boolean	100	None	remoto
valout_cal_rem	MB805.7	Boolean	100	None	remoto
valvulain_caldera	MB201.7	Boolean	100	None	caldera
valvulain_t1	MB201.3	Boolean	100	None	tanque1
valvulaout_caldera	MB202.0	Boolean	100	None	caldera
valvulaout_t1	MB201.4	Boolean	100	None	tanque1