

RAE

1.TIPO DE DOCUMENTO: Proyecto de Grado

2.TÍTULO: Automatización de una planta de pasteurización con fines formativos.

3.AUTOR (ES): Luis Eduardo Ortiz Ortiz, Frei Alexander Cortes.

4.LUGAR: Bogotá, D.C.

5.FECHA: enero de 2019.

6.PALABRAS CLAVES: Pasteurización, banco de prueba, automatización, intercambiador de calor, sensores.

7.DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: El objetivo principal es automatizar la planta de pasteurización existente en la Universidad de San Buenaventura, para que los estudiantes refuercen sus estudios en la línea de control y automatización.

8.LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Instrumentación y control de procesos

9.METODOLOGÍA: Es de carácter analítico-deductivo con un enfoque a la automatización y control de procesos.

10.CONCLUSIONES:

- El dimensionamiento y diseño del cuadro eléctrico para la gestión de la energía en la planta de pasteurización, fue una etapa prioritaria para el desarrollo de la mayoría de las fases o etapas posteriores que se debieron dar en la implementación de la planta.
- Debido a las características de los elementos que intervienen en el sistema de control como son el variador de frecuencia y el PLC, fue necesario realizar una comunicación maestro esclavo entre ellos por medio del protocolo RS485.
- Gracias al análisis experimental, se pudo determinar la región lineal del caudal generado por la bomba, con estos datos se obtuvo la ecuación lineal que representaba dicha región y posteriormente se procedió a ingresar dichas funciones en el PLC y realizar un control proporcional, en el cual, dado un caudal deseado, se calcula la frecuencia requerida para generar dicho caudal y se envía al variador de frecuencia, el cual es activado por una señal enviado por el usuario desde la interfaz. Para el control de temperatura se planteó un control on/off que fue condicionado por un ciclo if donde se mantendrá encendida la resistencia siempre y cuando la temperatura actual sea mayor a la deseada por el usuario.
- Para el diseño de la interfaz se plantearon seis ventanas de navegación e interacción con el usuario, programadas con ayuda del software Visilogic, el cual presentaba una pestaña para la programación de la pantalla táctil y otra para la programación LADDER, cuatro de estas ventanas fueron desarrolladas con el fin de operar la máquina, mirar sus sensores y adquirir las variables, las demás se programaron para navegar entre opciones. Para poder programar la ventana de captura de datos se usó una interfaz previamente existente en el programa, la cual nos proporcionó una gráfica en la cual poder representar las variables adquiridas por el PLC, fue necesario indicar en qué momento mostrarlas y darle una opción al usuario para seleccionar cuáles variables deseaba observar. La ventana donde se realizó el acceso a los controladores del proceso se denominó como “prueba”, contaba con dos casillas para ingresar las variables de caudal y temperatura que se deseaban obtener, y dos para saber el valor de dichas variables, así como dos botones que permiten poner en funcionamiento un control u otro.



**UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA**

Automatización de una planta de pasteurización con fines formativos.

**Frei Alexander Cortés Garzón
Luis Eduardo Ortiz Ortiz**

Universidad San Buenaventura
Facultad de ingeniería
Bogotá, Colombia
2018

Automatización de una planta de pasteurización con fines formativos.

Frei Alexander Cortes Garzón
Luis Eduardo Ortiz Ortiz

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecatrónico

Director (a):
Uriel Augusto Muñoz

Línea de Investigación:
Instrumentación y control de procesos
campo de Investigación:
Automatización de procesos y control.

Universidad San Buenaventura
Facultad de ingeniería
Bogotá, Colombia
2018

Agradecimientos

Le agradecemos a nuestras familias por haber estado siempre apoyándonos a lo largo de nuestra carrera, brindándonos no solo el sustento económico, sino también un apoyo emocional e incondicional permitiéndonos sobreponernos a diferentes retos y adversidades.

Contenido

Introducción	8
1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	9
1.1 Descripción y formulación del problema.....	9
1.2 Objetivos de la investigación	9
1.2.1 Objetivo General.....	9
1.2.2 Objetivos Específicos.....	9
1.3 Justificación	10
2 MARCO DE REFERENCIA	11
2.1 Antecedentes	11
2.2 Marco Teórico.....	13
3 METODOLOGÍA	16
3.1 Fase 1: Evaluación de condiciones iniciales.	16
3.2 Fase 2: Determinación de las características técnicas de cada uno de los elementos de la planta. ...	16
3.3 Fase 3: Recableado de la planta	16
3.4 Fase 4: Adaptaciones mecánicas.....	17
3.5 Fase 5: Programación del PLC y su interfaz.....	17
3.6 Fase 6: Implementación de método de control	17
4 DESARROLLO INGENIERIL.....	18
4.1 Fase 1: Evaluación de condiciones iniciales	18
4.2 Fase 2: Determinación de las características técnicas de cada uno de los elementos de la planta. ...	25
4.2.1 Potencia de la resistencia:	25
4.2.2 Potencia requerida por las bombas.....	26
4.2.3 Potencia de bomba del líquido a pasteurizar:.....	28
4.2.4 Potencia de bomba del sistema refrigerante:.....	33
4.2.5 Selección de disyuntores y contactores:.....	38
4.3 Fase 3. Recableado de la planta	39
4.3.1 Problemas encontrados en el cuadro de potencia:.....	40
4.3.2 Adaptación de motor monofásico (líquido a pasteurizar):	41
4.3.3 Adaptación de circuito de accionamiento de la resistencia:.....	41
4.4 Fase 4: Adaptaciones mecánicas.....	50
4.5 Fase 5: Programación del PLC y su interfaz:.....	52
4.5.1 Requerimientos de PLC:	52
4.5.2 Programación:	55
4.6 Fase 6: Implementación de método de control	66

5 CONCLUSIONES:	74
6 RECOMENDACIONES	75
7 ANEXOS	76
Anexo A. Plano P&ID de la planta pasteurizadora.....	76
Anexo B. Plano Eléctrico del Antiguo Circuito de Potencia de la Planta Pasteurizadora.	77
Anexo C. Plano Eléctrico del Nuevo Circuito de Potencia de la Planta Pasteurizadora.....	78
Anexo D. Tabla de datos.....	79
Anexo E. Circuito de entradas digitales del módulo del PLC. 83	
Anexo F. Circuito de salidas del módulo del PLC.	84
Anexo G. Circuito de entradas analógicas del módulo.	85
Anexo H. Manual de la Planta de Pasteurización.	86
Anexo I. Programación del PLC.	87
Anexo J. Configuración del variador	88
Anexo K. Tablas y datos de pérdidas de energía de tuberías.....	89
8 BIBLIOGRAFÍA	91

Lista de Figuras

Figura 1. Representación esquemática del proceso HTST.....	11
Figura 2. Representación esquemática del proceso UHT.	12
Figura 3. Representación esquemática de un intercambiador de placas.	13
Figura 4. Componentes de una Bomba centrífuga.	13
Figura 5. Variador de frecuencia PII30.	14
Figura 6. Esquema de la conexión RS485.	15
Figura 7. Esquema de la planta pasteurizadora.	19
Figura 8. Componentes físicos de la planta pasteurizadora.	19
Figura 9. Plano P&ID de la planta pasteurizadora. (Anexo A).....	20
Figura 10. Bomba QB70.	21
Figura 11. Bomba JCRm 1C.	22
Figura 12. Imagen referencial del motor trifásico mezclador.	22
Figura 13. Electroválvula NC.	23
Figura 14. Imagen referencial de la PT100.	24
Figura 15. PLC VIPA 313 SC.....	24
Figura 16. Circuito hidráulico del pasteurizado.	27
Figura 18. Gráfica de Nivel del Tanque 1 vs Ganancia requerida por la bomba en metros columna de agua.	32
Figura 19. Circuito hidráulico del líquido refrigerante.	33
Figura 20. Foto del estado inicial del interior del cofre eléctrico.	39
Figura 21. Circuito de potencia inicial de la planta pasteurizadora. (Anexo B)	39
Figura 22. Nuevo circuito de Potencia en la planta pasteurizadora. (Anexo C)	41
Figura 23. Circuito de entradas digitales del módulo del PLC. (Anexo E).....	42

Figura 24. Circuito de salidas del módulo del PLC. (Anexo F).....	43
Figura 25. Circuito de entradas analógicas del módulo. (Anexo G).....	44
Figura 26. Circuito de conversión frecuencia-voltaje.....	46
Figura 27. Circuito de amplificación.....	46
Figura 28. Gráfica de frecuencia vs voltaje.....	48
Figura 29. Gráfica Registro de bits PLC vs Temperatura del tanque 1.....	49
Figura 30. Gráfica Registro de bits PLC vs Temperatura del tanque 2 y refrigerante.....	49
Figura 31. Foto de flujómetro utilizado en la planta.....	50
Figura 32. Foto de racor soldado para instalación de PT100.....	50
Figura 33. Foto de la instalación del silenciador neumático.....	51
Figura 34. Ventana de instalación de drivers para programación.....	55
Figura 35. Ventana de Inicio.....	55
Figura 36. Ventana de Menú.....	56
Figura 37. Ventana Sensores.....	56
Figura 38. Ventana Muestreo.....	57
Figura 39. Ventana de Tabulación de Variables.....	57
Figura 40. Ventana de configuración de gráficas.....	58
Figura 41. Ventana de escritura de variables.....	58
Figura 42. Programación de escritura y cambio de fila de tablas.....	59
Figura 43. Programación de limpiar tabla.....	59
Figura 44. Ventana de Control Manual.....	60
Figura 45. Módulo de inicialización de comunicación.....	61
Figura 46. Módulo de configuraciones MODBUS.....	61
Figura 47. Programación de arranque/parada.....	62
Figura 48. Ventana Prueba.....	62
Figura 49. Programación Control temperatura del Tanque 1.....	63
Figura 50. Programación Control de válvulas para arranque.....	63
Figura 51. Programación del Control del Caudal.....	64
Figura 52. Diagrama de flujo de la programación.....	65
Figura 53. Foto de la prueba de lectura de flujómetro en horizontal.....	66
Figura 54. Foto de la prueba de lectura de flujómetro en vertical.....	67
Figura 55. Gráfica de flujo vs Entrada PLC.....	67
Figura 56. Gráfica de frecuencia de alimentación vs pulsos de lectura.....	68
Figura 57. Gráfica de frecuencia de alimentación vs caudal generado.....	68
Figura 58. Interfaz para ingresar ecuaciones en Visilogic.....	69
Figura 59. Gráfica de prueba realizada para determinar las características del intercambiador.....	71
Figura 60. Programación de multiplexación de datos.....	87
Figura 61. Coeficiente por Contracción súbita.....	90
Figura 62. Coeficiente por codo a 90°.....	90

Lista de Tablas

Tabla 1. Tabla de letras de instrumentos y funciones (P&ID).....	20
Tabla 2. Evaluación de la bomba monofásica del refrigerante.....	21

Tabla 3. Evaluación de la bomba monofásica del pasteurizado.....	22
Tabla 4. Evaluación de motor trifásico mezclador.....	22
Tabla 5. Evaluación de las electroválvulas.	23
Tabla 6. Evaluación de PT100.	24
Tabla 7. Evaluación del PLC.	24
Tabla 8. Corriente consumida en la rama 1.	38
Tabla 9. Corriente consumida en la rama 2.	38
Tabla 10. Corriente consumida en la rama 3.....	38
Tabla 11. Colores de polos.....	40
Tabla 12. Componentes del Circuito de entradas digitales del módulo del PLC.....	42
Tabla 13. Componentes del circuito de las salidas del módulo del PLC.	43
Tabla 14. Tabulación frecuencia y voltaje.	47
Tabla 15. Adaptación mecánica del tanque 1.	51
Tabla 16. Variables y Registros de la programación.	53
Tabla 17. Valores aproximados del coeficiente global de transmisión de calor U.	73
Tabla 18. Tabla de datos.	79
Tabla 19. Selección de comando de frecuencia.	88
Tabla 20. Velocidad de transmisión.....	88
Tabla 21. Dirección de transmisión	88
Tabla 22. Selección de formato de transferencia de datos.	88
Tabla 23. Configuración de Parámetros del variador.....	89
Tabla 24. Tabla de Factor de Fricción ft para diferentes tamaños de tubería.	89
Tabla 25. Resistencia de válvulas y acoplamientos expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería L/D.....	90
Tabla 26. Tabla de Coeficientes de Flujo Cv de diferentes válvulas.	91

Introducción

En la industria actual existen diferentes tipos de procesos altamente automatizados para llevar a cabo tareas complejas de forma rápida y con el menor margen de error, dentro de las cuales se encuentran sectores como el de la comida, cuyos estándares son muy estrictos y complejos debido a que se debe poder asegurar la higiene del producto; uno de los métodos para la erradicación de agentes patógenos es el tratamiento de líquidos por pasteurización, en el cual el fluido es calentado a elevadas temperaturas durante un tiempo determinado por la naturaleza del líquido y el tipo de patógenos que se quieran erradicar, posteriormente es enfriado con el fin de disminuir la mayoría de microorganismos no deseados presentes en dicho líquido. Para lograr hacer más precisos dichos procesos, es necesaria la implementación de controladores por medio de módulos PLC, los cuales se encargan de la adquisición y el procesamiento de datos para manipular la variable deseada en el sistema. Dentro de los diferentes tipos de controladores el más usado en la actualidad por la industria es el PID, ya que presenta robustez en su estructura, permite corregir los efectos causados por las perturbaciones de manera eficaz y en el menor tiempo posible, dando además la posibilidad de sintonizarse de diferentes maneras.

Es fundamental para un ingeniero mecatrónico la habilidad de diseñar e implementar dichos controladores en el ámbito industrial, por ello es indispensable el estudio y práctica de estos procesos desde su formación académica, sin embargo, el acercamiento a un entorno laboral resulta ser deficiente en la mayoría de las instituciones de educación superior, provocando falencias al momento de poder implementar sus conocimientos. Con el propósito de mejorar el ingreso de los recién graduados a la vida laboral se plantea dar funcionamiento a una planta de pasteurización, la cual mediante el uso de un PLC permita la implementación de controladores para la manipulación de diferentes variables del proceso, como lo es la temperatura, el flujo y el nivel reforzando así tanto el acercamiento a un entorno real, como la aplicación y evaluación de sus habilidades de control, adquisición de datos y programación. En la universidad San Buenaventura desde el año 2012 se ha estado trabajando en la fabricación de un módulo de pasteurización, pero eventualmente dicho módulo fue abandonado, debido a que ningún grupo de la facultad quiso terminarlo a pesar de llevar una gran cantidad de dinero y tiempo invertido, dejándola en una etapa netamente mecánica.

Para poner en funcionamiento dicha planta, será necesario lograr un correcto mapeo y comprensión de los parámetros electrónicos y mecánicos que se desean emular, para poder llegar a ejecutar el proceso de pasteurización de manera correcta, además de realizar una interfaz que facilite la comunicación entre el operario y el PLC permitiendo no solo evaluar las variables, sino además poder adquirirlas dentro de los parámetros deseados.

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción y formulación del problema

El plan de estudio de la Universidad San Buenaventura Bogotá da la posibilidad al estudiante de ingeniería mecatrónica a enfocar sus estudios hacia la línea de automatización industrial, con el fin que el alumno adquiriera las bases para poder afrontar la vida laboral. Para cumplir este objetivo, la Universidad propone una serie de cursos, los cuales van encaminados al manejo y configuración apropiada de los controladores lógicos programables (PLC), y manejo de instrumentación, los cuales son altamente implementados en la industria; sin embargo, los estudiantes de ingeniería mecatrónica en general presentan ciertas falencias al momento de afrontar el entorno laboral y por medio de este banco de pruebas se busca tener una alternativa desde los estudios de pregrado de ingeniería mecatrónica, la creación de lazos de control y la inmersión hacia problemas que el ingeniero se encontrará posiblemente en la vida laboral.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General

- Automatizar la planta de pasteurización existente en la Universidad de San Buenaventura, para que los estudiantes refuercen sus estudios en la línea de control y automatización.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar un tablero eléctrico que permita el uso de los actuadores y sensores que sean requeridos para el proceso de pasteurización.
- Comunicar, adquirir y acondicionar las señales de los sensores y elementos de control.
- Implementar método de control on-off para la temperatura y el caudal de la planta.
- Diseñar una interfaz que le permita al estudiante la visualización, modificación, y adquisición de los parámetros del proceso (estos son tiempo de calentamiento, velocidad de transferencia de los líquidos, tiempo de agitación, etc.).

1.3 Justificación

Algunas de las principales necesidades que tiene un ingeniero mecatrónico al momento de iniciar su vida laboral en el ámbito industrial, es la capacidad de poder implementar, modelar y analizar diferentes tipos de procesos, sin embargo, en su formación, los estudiantes no se acercan a un ambiente real donde puedan abordar los problemas de manera efectiva debido a que no se encuentran herramientas que simulen situaciones con las que se encontraran en la vida laboral. A causa de esto, se encuentran falencias como lo son la implementación de controles distintos a los que están previamente configurados en los controladores lógicos programables, que limitan al estudiante a implementar soluciones que se aproximen a los requerimientos deseados, también se evidencia la dificultad que tiene el estudiante al momento de modelar e identificar las variables de un proceso industrial.

El proyecto “Automatización de una planta de pasteurización con fines formativos.” busca reforzar las competencias del ingeniero en el área de dinámica de sistemas, control, automatización y programación, integrándolos hacia un enfoque práctico donde se puedan traer las necesidades industriales hacia la academia, y a su vez permitir el desarrollo del pensamiento crítico y analítico en la industria. Por medio de un módulo de pasteurización brindado por la universidad el cual no se encuentra en servicio, se implementará y configurará un PLC para poder desarrollar prácticas pedagógicas concernientes a la línea de automatización.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes

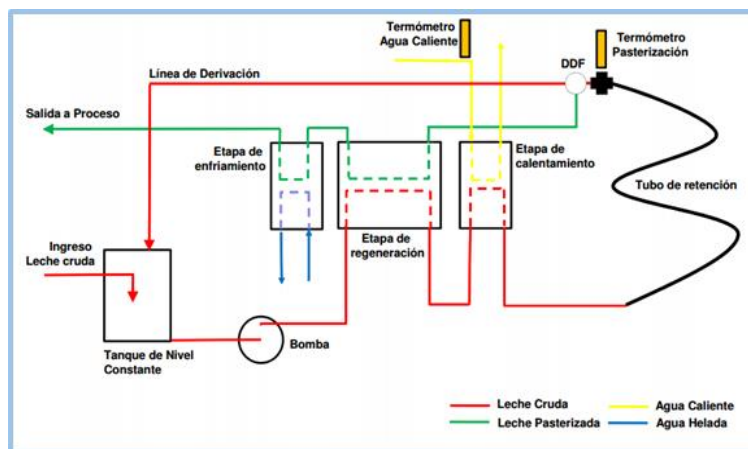
La pasteurización: Este proceso lo llevó a cabo por primera vez, el científico químico francés Louis Pasteur, a quien le debe su nombre el 20 de abril de 1864, es un proceso térmico que se basa en someter un líquido a altas temperaturas con el objetivo de reducir la presencia de agentes patógenos. A causa de que este proceso se realiza en diferentes tipos de líquido, para asegurar que se eliminarán la mayor cantidad de patógenos sin alterar las propiedades de organolépticas del líquido se tienen diferentes tiempos y temperaturas para cada líquido.

Existen tres métodos de pasteurización en la actualidad:

Proceso VAT: Fue el primer método de pasteurización inventado y también el más lento. El proceso consiste en calentar el líquido en un recipiente a temperaturas de 63°C durante 30 minutos, para luego dejar enfriar lentamente sin ningún tipo de método de enfriamiento. Su principal desventaja es que debe pasar bastante tiempo para continuar con el proceso de envasado del producto y su mayor ventaja es su bajo costo.

Proceso HTST: Este proceso consiste en hacer que grandes cantidades del líquido queden expuestas a temperaturas altas de 72°C a 76°C durante un corto período de tiempo de 15 a 17 segundos con el fin de que no se interrumpa el flujo en la cadena de producción es el más usado en varias empresas en la actualidad ya que su implementación requiere poco equipo y puede ser usado para pasteurizar grandes cantidades de líquidos.

Figura 1. Representación esquemática del proceso HTST.



Fuente: https://docplayer.es/docs-images/43/14380945/images/page_17.jpg

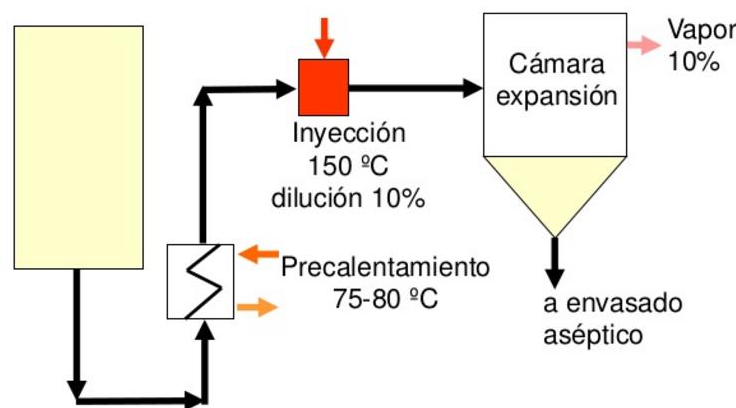
Existen dos métodos distintos bajo la categoría de pasteurización HTST:

Proceso Batch: Una gran cantidad de leche se calienta en un recipiente estanco y posteriormente se enfría, este método es empleado por empresas a pequeña escala debido a que aunque no es tan lento como el VAT, su producción no es tan grande.

Proceso en flujo continuo: El alimento se hace circular por medio de una bomba a través de un intercambiador de calor de placas el cual se encargará de pasteurizar dicho líquido en su transcurso, esto garantiza poder pasteurizar más líquido en menos tiempo, es muy usado en las industrias grandes ya que al estar en flujo continuo se mantiene pasteurizando siempre.

Proceso UHT: Este proceso consiste en calentar el producto por medio de un intercambiador de calor al cual se le inyecta vapor a más de 135 °C en tiempos entre 2 y 8 segundos. Esto se hace de una forma continua y en un recinto cerrado que garantiza que el producto no se contamine mediante el envasado aséptico. Destruye todos los microorganismos, lo que hace que el producto final sea apto para la distribución a temperatura ambiente, su principal ventaja es que debido a que expone los líquidos un corto periodo de tiempo mantiene el valor nutricional de los líquidos.

Figura 2. Representación esquemática del proceso UHT.

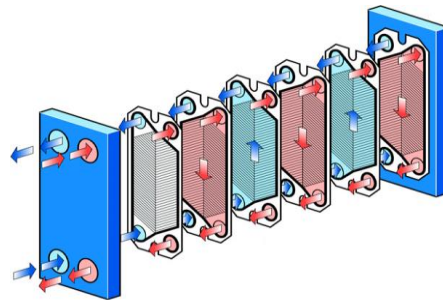


Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/transmisindecalor2012-130221114730-phpapp01/95/transmisin-de-calor-2012-35-638.jpg?cb=1361447448>

2.2 Marco Teórico

Intercambiador de calor de placas: Los intercambiadores de calor de placas son dispositivos que por medio de placas puestas paralelamente uno contra otra, permiten el intercambio de calor entre dos líquidos, dependiendo de la forma en la que sean armados se pueden obtener mayores presiones en el interior del intercambiador y hasta operar con más de 2 líquidos, ofreciendo una gran flexibilidad a la hora de usarse en diferentes procesos. Dentro sus principales ventajas con respecto a otros intercambiadores e encuentra su alto coeficiente de transmisión de calor debido a las altas velocidades que maneja entre sus placas, produciendo además un ensuciamiento más lento.

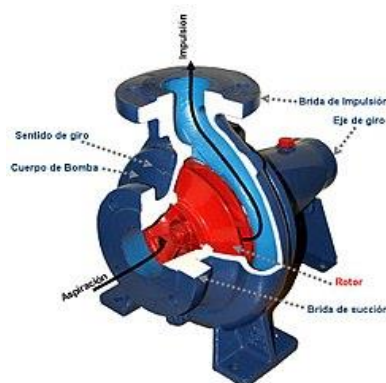
Figura 3. Representación esquemática de un intercambiador de placas.



Fuente: <http://t-solucion.com/wp-content/uploads/Imagen-noticia-16-2.jpg>

Bomba centrífuga: Al igual que otras bombas esta aplica la transformación de la energía suministrada, en energía mecánica para generar flujo volumétrico de un líquido, suele ser utilizada para los fluidos incompresibles aumentando así la energía del sistema hidráulico, se denomina centrífuga ya que usa fuerzas centrífugas para mover las partículas del líquido desde el punto central del impulsor hasta las paredes del mismo, provocando que el líquido incremente su velocidad y presión.

Figura 4. Componentes de una Bomba centrífuga.



Fuente: https://www.lehide.com/wp-content/uploads/2015/01/Bomba_centrifuga-150x150.jpg

Sensor de flujo: Es un instrumento que se encarga de medir la cantidad de volumen de un fluido ya sea, líquido o gaseoso, que pasa en un determinado tiempo. Los sensores de flujo suelen usarse en las tuberías para leer el caudal que llevan, y los hay en diferentes tipos; con referente a su lectura hay mecánicos y eléctricos, y con respecto a su funcionamiento, hay de molino, de turbina, visuales, ultrasónicos, de diferencial, de temperatura y de Coriolis.

Control: En el campo de la ingeniería actualmente se desempeñan proyectos en el sector de la industria la robótica y hasta en vehículos espaciales que involucran diferentes tipos de variables como son la presión, temperatura, humedad y hasta flujo, en la mayoría de estos casos se requiere que ciertas variables tengan un comportamiento deseado para lograr los objetivos de la manera más eficiente posible, por ello es vital un área de estudio que se encargue del modelamiento de las variables para darle ciertos parámetros deseados, esta área es conocida como control.

Región de operación: Se le denomina región de operación a un campo de puntos dentro de los cuales se evalúa que la máquina trabaja bajo las condiciones deseadas para un proceso o tarea.

Variador de frecuencia: También conocidos como driver de frecuencia ajustable, es un dispositivo cuyo objetivo es controlar la velocidad de un motor AC mediante la variación de la frecuencia de la alimentación ingresada.

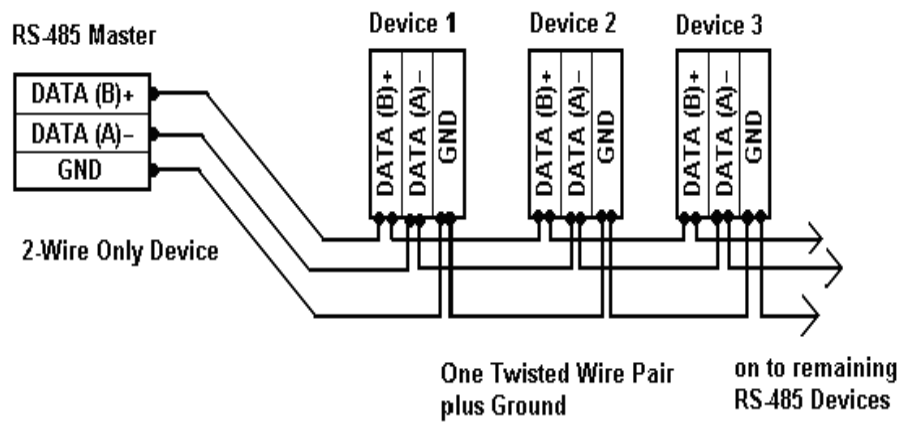
Figura 5. Variador de frecuencia PI130.



Fuente: <https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1V3yUKFXXXXaaXXXXq6xXFXXX3/Powtran-PI130-0R7G1-economic-drive-frequency-inverter.jpg>

Comunicación RS485: Es un sistema estándar de comunicación de la capa física del modelo OSI, por el cual los datos son transmitidos de un dispositivo a otro por medio de dos o tres hilos, uno de datos, otro de datos invertido y uno de 0V. Teniendo ventajas principalmente con su alta velocidad de transmisión a largas distancias y la capacidad de conectar varios dispositivos con la misma línea.

Figura 6. Esquema de la conexión RS485.



Fuente: http://www.bb-elec.com/Images/2wire_rs485_fig1.aspx

3 METODOLOGÍA

3.1 Fase 1: Evaluación de condiciones iniciales.

Como primera actividad se van a analizar los sistemas de pasteurización que se emplean en la leche, jugos o refrescos que se venden en supermercados de cadena. Acto seguido se van a comparar los elementos de la planta de pasterización con los modelos de pasterización más usados en la industria colombiana, para determinar si los elementos que existen en la planta permiten emular alguno de estos procesos de pasteurización. Una vez finalizada esta comparación y determinado el tipo de pasterización a emular, se procede a evaluar el estado mecánico de los actuadores, la instrumentación, la conexión del tablero de control, el estado del autómata existente en la planta y la pantalla de visualización, con el fin de corroborar su correcto funcionamiento, para evitar posibles problemas al momento de realizar modificaciones o adiciones al sistema existente.

3.2 Fase 2: Determinación de las características técnicas de cada uno de los elementos de la planta.

En esta fase se hacen los cálculos de las potencias suministradas por la resistencia y los motores existentes en la planta, posteriormente se evalúan los tiempo, caudales y temperaturas requeridas para emular correctamente el proceso de pasteurización, y así, poder realizar una comparativa entre el requerido por el proceso y el suministrado, evaluando si es necesario realizar algún cambio o adaptación en los elementos. Una vez calculadas las potencias de los actuadores se podrán calcular la capacidad que deberán tener los contactores.

3.3 Fase 3: Recableado de la planta

Debido a que la planta existente carece de un manual eléctrico en donde aparezca el esquema de conexión de cada uno de los componentes, es indispensable hacer un levantamiento del plano eléctrico de tablero de distribución y de ser necesario, se procede nuevamente a realizar el cableado la circuitería interna, con la finalidad de entender su funcionamiento y realizar los planos respectivos. Debido a que la empresa Autodesk otorga versiones de software estudiantiles gratuitas, se va a usar el software Autocad Electrical para la esquematización del tablero. Una vez esquematizado el nuevo cuadro eléctrico, se procederá a realizar las conexiones con el cableado

adecuado y si es necesario se acondicionarán algunos elementos existentes a las condiciones requeridas.

3.4 Fase 4: Adaptaciones mecánicas

Una vez conectados todos los sensores requeridos para el proceso, se procederá a realizar la instalación de dichos sensores por medio de racores, que se soldarán en las posiciones designadas para la captura de datos y de ser necesario se realizará la instalación de elementos para solucionar problemas mecánicos existentes en la planta.

3.5 Fase 5: Programación del PLC y su interfaz

Se buscará entre los distribuidores de equipos de automatización, un autómata que facilite la adquisición de las señales requeridas y la comunicación con los elementos de control, y de ser necesario se plantearán algunos circuitos que permitan el acondicionamiento de dichos sensores al autómata y una vez seleccionado, se procederá a instalarlo dentro del cuadro eléctrico con su debida protección. Para su programación se plantearán cinco ventanas dentro de la interfaz y se desarrollarán en conjunto con la programación del PLC una por una.

3.6 Fase 6: Implementación de método de control

Para el control del caudal se elabora una linealización de su comportamiento con respecto a la frecuencia de la bomba para encontrar las ganancias requeridas para poder lograr las condiciones deseadas y para el control de la temperatura del líquido a pasteurizar se plantea un control on-off donde se mantendrá encendida la termorresistencia hasta llegar a la temperatura deseada. Dentro de esta fase se analizará también algunas características asociadas al intercambiador de placas y el balance de energía para servir de apoyo al desarrollo futuro del proyecto.

4 DESARROLLO INGENIERIL

4.1 Fase 1: Evaluación de condiciones iniciales

Para poder entender el tipo de pasteurización que se quiere emular, se analizaron los tipos de procesos de pasteurización empleados en el mercado colombiano, encontrado que los más comunes son HTST (High temperature short time) y UHT (Ultra high temperature), con un importante incremento del UHT anualmente, siendo este mucho más costoso pero más eficiente que el HTST, debido a que provee mejores propiedades alimenticias y mejora la conservación del producto.

Tal y como se mencionó en el marco teórico, para realizar un proceso **HTST**, hay que elevar el líquido a pasteurizar a una temperatura entre 70°-80°C por 15 segundos y luego enfriarlo hasta 4 grados. Así mismo para emular este proceso, se necesitan los siguientes elementos:

- Tanque de almacenamiento
- Bombas centrifugas para liquido caliente y líquido refrigerante
- intercambiador de calor
- sistema refrigerante
- tanque de líquido pasteurizado
- termorresistencia
- Mezclador
- Válvulas de control de flujo

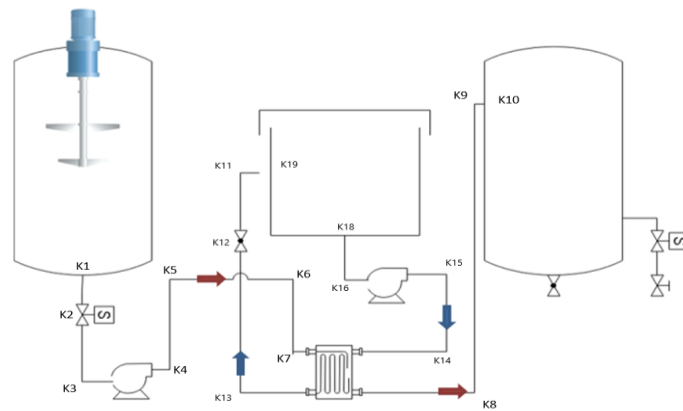
Para el caso del proceso **UHT**, hay que elevar el líquido a pasteurizar a una temperatura entre 150°-200°C por 3 segundos y luego enfriarlo hasta 4 grados. Para una pasteurización UHT se necesitan los elementos que se menciona a continuación:

- Tanque de almacenamiento
- Bombas centrifugas para liquido caliente y líquido refrigerante
- inyección de vapor
- tanques de líquido pasteurizado
- intercambiador de calor
- sistema refrigerante
- Mezclador
- Válvulas de control de flujo

Después de haber verificado los elementos existentes en la planta y contrastarlos con los requeridos en los dos procesos, se llegó a la conclusión que el proceso que se puede emular correctamente es HTST batch, debido a que no se cuenta con un mecanismo de inyección de vapor, sino con una termorresistencia.

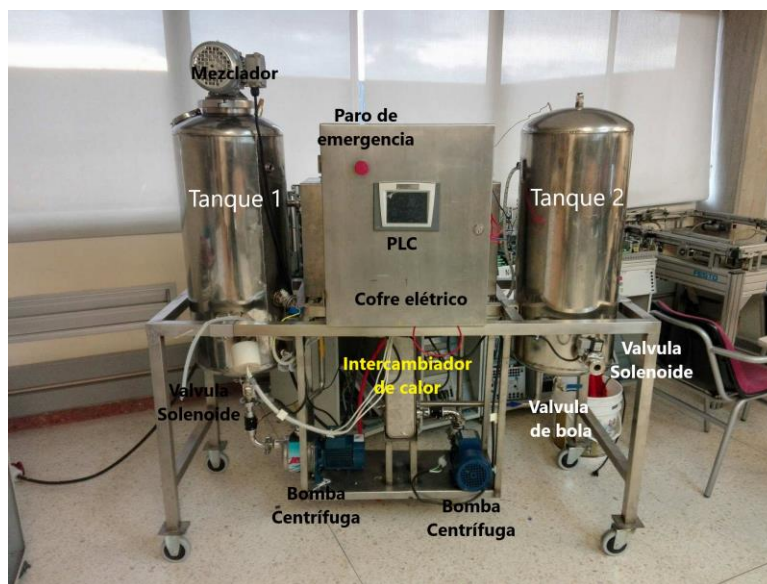
Una vez contrastada la planta de forma general, se procede a realizar un croquis esquemático con el propósito de describir de una manera práctica, los pasos que van sucediendo en la pasteurización, así mismo este croquis permite codificar los elementos de instrumentación que allí se encuentran.

Figura 7. Esquema de la planta pasteurizadora.



El croquis anterior corresponde a una representación esquemática y simbólica de los elementos que se encontraban inicialmente en la planta y que se aprecian en la siguiente imagen.

Figura 8. Componentes físicos de la planta pasteurizadora.



Una vez levantado el croquis se realiza una representación normalizada de la planta teniendo en cuenta los parámetros expresados en la norma ISA (en el anexo A se puede apreciar de una manera más clara la figura 9).

Figura 9. Plano P&ID de la planta pasteurizadora. (Anexo A)

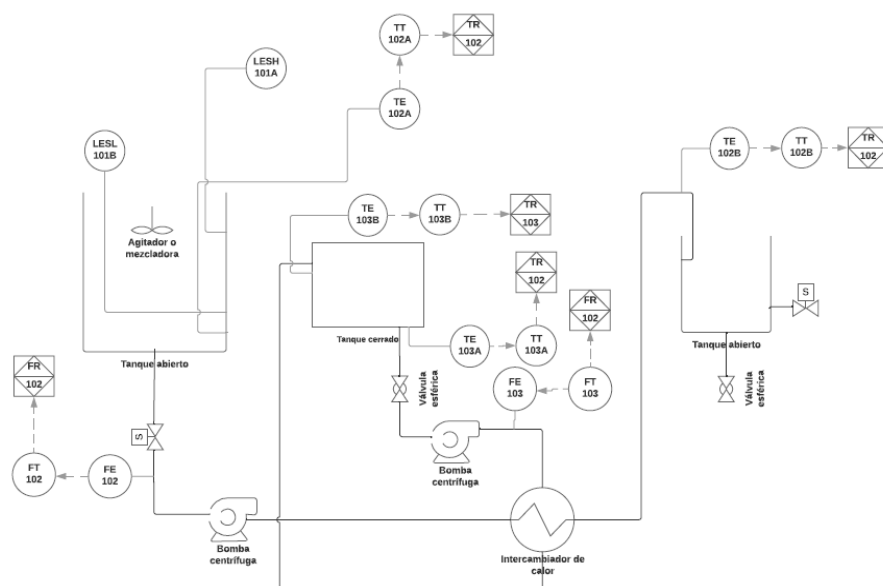


Tabla 1. Tabla de letras de instrumentos y funciones (P&ID).

	PRIMER CARÁCTER		CARACTERES SUSCESIVOS		
	VARIABLE MEDIDA	LETRA DE MODIFICACIÓN	FUNCION DE LECTURA PASIVA	FUNCION DE SALIDA	LETRA DE MODIFICACION
A	Análisis	-----	Alarma	-----	-----
B	Llama	-----	Disponible	Disponible	Disponible
C	Conductividad	-----	-----	Control	-----
D	Densidad	Diferencial	-----	-----	-----
E	Tensión (EMF)	-----	E.P.M.	-----	-----
F	Caudal	Relación	-----	-----	-----
G	Calibre ó Dimensión	-----	Vidrio	-----	-----
H	Manual	-----	-----	-----	Valor Alto
I	Corriente Eléctrica	-----	Indicador	-----	-----
J	Potencia	Exploración	-----	-----	-----
K	Tiempo	-----	-----	Estación de control	-----
L	Nivel	-----	Lampara ó Luz Piloto	-----	Valor Bajo
M	Humedad	-----	-----	-----	V. Intermedio
N	Disponible	-----	Disponible	Disponible	Disponible
O	Disponible	-----	Orificio	-----	-----
P	Presión ó Vacío	-----	Punto de prueba	-----	-----
Q	Cantidad	Totalización	-----	-----	-----
R	Radioactividad	-----	Registro	-----	-----
S	Velocidad ó Frec.	Seguridad	-----	Interruptor	-----
T	Temperatura	-----	-----	Transmisor	Multifunción
U	Multivariable	-----	Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Viscosidad	-----	-----	Válvula	S/C
W	Peso ó Fuerza	-----	Vaina	S/C	-----
X	S/C	-----	S/C	S/C	S/C
Y	Disponible	-----	-----	Relé/Convertidor	-----
Z	Posición	-----	-----	E.F.C. S/Clasificar	-----

Fuente: Profesor Oscar Paez. Norma ISA. Universidad de Santiago de Chile.

Como paso siguiente, se evalúa el estado mecánico de los actuadores: bomba centrífuga líquido refrigerante, bomba centrífuga líquido pasteurizado, motor mezclador y electroválvulas,

Tabla 2. Evaluación de la bomba monofásica del refrigerante.


Bomba centrífuga monofásica (líquido refrigerante):	Prueba
<p data-bbox="302 569 568 594">Figura 10. Bomba QB70.</p>  <p data-bbox="203 926 664 1066">Fuente: https://www.campeongroup.es/images/stories/virtuemart/product/qb70.jpg</p>	<p data-bbox="688 569 1339 936">Para probar su estado, se procedió a conectar el motor a una fase de corriente y se conectó a la tubería de entrada, un tanque que le suministraba agua y en el conducto de salida, una tubería que suministrará el agua a otro tanque. Esta prueba no tuvo algún resultado, debido a que la bomba no encendió, razón por la cual se optó por efectuar una inspección de sus componentes internos, encontrando que estaban oxidados.</p>
Estado: Dañado	Causa: la bomba estuvo inactiva alrededor de 4 años y al tener un fluido oxidante en su interior, provocó que se oxidaran algunos componentes
Solución	Cambio de la bomba ya que su reparación era más costosa que su cambio.

Tabla 3. Evaluación de la bomba monofásica del pasteurizado.

<p>● Bomba centrífuga monofásica (líquido pasteurizado):</p>	<p>Prueba</p>
<p>Figura 11. Bomba JCRm 1C.</p>  <p>Fuente: http://www.grupoalmont.com.mx/400-649-large/jcrm-1c-pedrollo.jpg</p>	<p>Se realizó una prueba de funcionamiento de la misma manera que la bomba del líquido refrigerante, en la cual no hubo algún problema y para verificar que no hubiese piezas en mal estado, se inspeccionó su interior donde no se encontraron piezas con irregularidades.</p>
<p>Estado: Correcto funcionamiento</p>	

Tabla 4. Evaluación de motor trifásico mezclador.

<p>Motor trifásico (mezclador):</p>	<p>Prueba</p>
<p><i>Figura 12. Imagen referencial del motor trifásico mezclador.</i></p>  <p>Fuente: https://http2.mlstatic.com/S_619225-MPE25965782484_092017-O.jpg</p>	<p>Ya que el motor estaba instalado en la parte superior del tanque de refrigeración, se procedió a realizar una prueba en vacío desde esta posición, en la cual se puso en funcionamiento por alrededor de 15 minutos donde se revisó que no produjera ruidos inadecuados o vibraciones que dieran indicios de tener problemas para darle giros al mezclador, después, se llenó el tanque en diferentes puntos y en cada uno se realizó la misma prueba hasta llenar el tanque donde no se encontraron irregularidades en su funcionamiento.</p>
<p>Estado: Correcto funcionamiento</p>	

Tabla 5. Evaluación de las electroválvulas.

Electroválvulas:	
<p>Figura 13. Electroválvula NC.</p>  <p>Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/39802-2278503.jpg</p>	
<p>Prueba: Estos elementos estaban instalados en la salida de los dos tanques, se optó por ingresar agua en ambos tanques y verificar si restringían el paso de manera efectiva mientras estaban apagadas y si al momento de ser energizadas dejaban pasar el líquido.</p>	
<p>Resultados electroválvula tanque 1: La válvula no restringía el paso de manera correcta y al momento de ser energizada permitía el paso del líquido.</p>	<p>Resultados electroválvula tanque 2: La válvula realiza la labor de restringir y dar paso de manera correcta.</p>
<p>Causa: Es posible que al estar tanto tiempo sin uso algún componente se haya movido ligeramente de su lugar provocando que no funcionara correctamente.</p>	<p>Estado: correcto funcionamiento</p>
<p>solución: Se procedió a desarmar la válvula y revisar que sus componentes no estuvieran desgastados o rotos, sin encontrar ninguna irregularidad se volvió a ensamblar y se realizó la misma prueba, pero encontrando que el error había sido corregido.</p>	
<p>Estado: correcto funcionamiento</p>	

De la misma forma como se evaluaron los actuadores, se revisó el estado de la instrumentación y los autómatas existentes: termo resistencia y autómata VIPA 313SC.

Tabla 6. Evaluación de PT100.



Termorresistencia:	Prueba
<p>Figura 14. Imagen referencial de la PT100.</p>  <p>Fuente: https://media.rs-online.com/t_large/F4554040-01.jpg</p>	<p>La resistencia estaba instalada en el tanque de pasteurización, por lo cual se procedió a desconectarla y revisar que no tuviera partes deterioradas o dañadas por mal uso, posteriormente se volvió a instalar en el mismo punto y se realizó una prueba donde se depositó agua dentro del tanque, y posteriormente se le suministraron tres fases a la resistencia, evaluando, que calentara 5 litros de agua de manera efectiva en alrededor de 20 minutos, pasados los 20 minutos se midió el agua y se encontró que la temperatura se había incrementado de manera considerable superando los 40 grados.</p>
Estado: Correcto funcionamiento.	

Tabla 7. Evaluación del PLC.

• Autómata VIPA 313 SC	Prueba
<p>Figura 15. PLC VIPA 313 SC.</p>  <p>Fuente: http://www.exsol.com.ar/img/plc-vipa-300s-1.jpg</p>	<p>Se conectó el equipo para verificar el estado de las entradas análogas y digitales, y de las salidas análogas y digitales, pero el autómata ni siquiera prendió. Ante esta situación se consultó al proveedor Cimatec, quien aconsejó comprar uno nuevo debido a que para su reparación, este debía ser enviado a Alemania y acarrearía el mismo costo que uno nuevo.</p>
Estado: Dañado	Causa: Según el catálogo, una mala conexión del suministro de energía pudo ocasionar un daño en la CPU del autómata.
Solución	Se reemplazó por uno con pantalla HMI incluida.

4.2 Fase 2: Determinación de las características técnicas de cada uno de los elementos de la planta.

En fase inicia con el cálculo de las potencias suministradas por la resistencia y los motores existentes en la planta, con la evaluación de los tiempo, caudales y temperaturas requeridas para emular correctamente el proceso de pasteurización, y así, poder realizar una comparativa entre el requerido por el proceso y el suministrado, evaluando si es necesario realizar algún cambio o adaptación en los elementos.

Termorresistencia: Antes de calcular las características técnicas que debe tener la resistencia, se efectúa el cálculo energético requerido para calentar el líquido a ser pasteurizado. Primero se recurre al calor específico para saber cuánta energía o calor, es necesario proporcionarles a 70 litros de agua para tener un incremento de temperatura de 18°C a 70°C.

Como la densidad del agua es de 1000Kg/m³, en 70 litros hay aproximadamente 70Kg.

$$Q = m * C_p * (T_f - T_i)$$

$$Q = 70 \text{ Kg} * 4.186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (70^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C})$$

$$Q = 15237.04\text{KJ}$$

Una vez hallado el calor que se debe suministrar, se calcula la potencia necesaria para hacerlo en 2 horas, que se traducen en 7200 segundos.

$$\begin{aligned} Q &= Q/t \\ Q &= 15237.04\text{KJ}/7200\text{s} \\ Q &= 2.1162\text{KW} \end{aligned}$$

4.2.1 Potencia de la resistencia:

Para calcular la potencia consumida de la resistencia encargada de la calefacción del líquido en el tanque 1, se comienza por el análisis de su alimentación, midiendo entre línea y línea se obtiene un voltaje aproximado a 208 voltios.

Ya sabiendo el voltaje aplicado sobre cada resistencia que compone el calentador, es posible hallar la corriente y posteriormente la potencia de fase que pasa por cada una de éstas:

Primero se mide el valor de cada resistencia ubicada en el tanque de la planta $R_f = 20\Omega$

$$I_f = V_f/R_f$$
$$I_f = 208V/20\Omega = 10.4A$$
$$P_f = V_f * I_f$$

$$P_f = 208V * 10.4A = 2.163KW$$

$$P_{Total} = 3 * P_f = 3 * 2.163KW$$

$$P_{Total} = 6.489KW$$

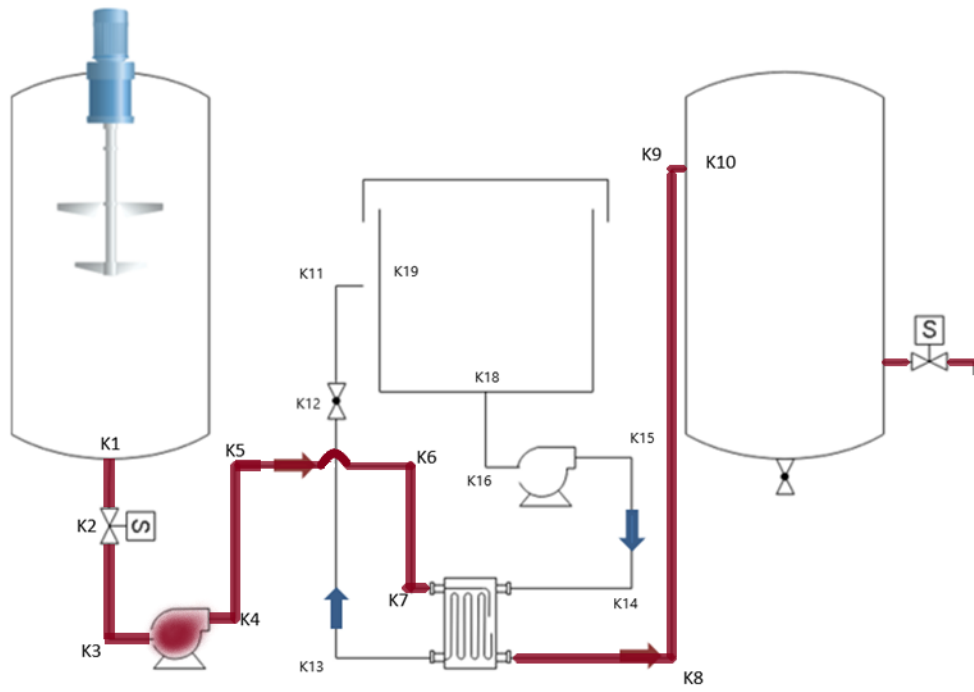
$$F_{Sobredimensionamiento} = P_{Resistencia}/P_{Requerida}$$
$$F_{Sobredimensionamiento} = 6.489KW/2.11KW = 3.07$$

Como se puede observar, la potencia de la resistencia es más que suficiente para abastecer el sistema de calentamiento con la capacidad máxima del tanque, ya que está sobredimensionado tres veces más. Lo cual significa que suministraría el calor que se necesita tres veces más rápido, es decir cerca de 40 minutos.

4.2.2 Potencia requerida por las bombas

Como se había expuesto en el marco teórico el sistema maneja dos circuitos hidráulicos. El primero por donde circula el líquido pasteurizado y el segundo por donde circula el líquido para realizar el enfriamiento. El primer cálculo que se va a realizar es la potencia requerida por la bomba para trasladar el líquido pasteurizado al tanque de almacenamiento (circuito hidráulico resaltado con rojo en la siguiente imagen).

Figura 16. Circuito hidráulico del pasteurizado.



4.2.3 Potencia de bomba del líquido a pasteurizar:

Para el cálculo de la potencia requerida por la bomba para llevar el líquido del tanque 1 al tanque 2, se usó la ecuación de Bernoulli el cual usa un balance de energía entre dos puntos:

Ecuación de Bernoulli:

$$Z_1 + v_1^2/(2g) + P_1/\gamma + h_A - h_R - h_L = Z_2 + v_2^2/(2g) + P_2/\gamma$$

Z= Altura del punto

V = velocidad del líquido en el punto

P= presión en el punto

g= gravedad

γ = peso específico

h_A =Energía añadido por algún dispositivo

h_R = Energía consumida por algún dispositivo

h_L = Energía consumida debido a la rugosidad y cambios de dirección ocasionados por accesorios.

Alturas: Ya que los tanques son del mismo tamaño sus alturas variaran entre 0 m – 1.06 m en los cálculos.

$$Z_1 = 0 - 1.06\text{m}$$

$$Z_2 = 0 - 1.06\text{m}$$

Velocidades: El líquido no presenta cambios de velocidades en el transcurso de la tubería.

$$\text{Caudal de la bomba} = 55 \text{ l/m}$$

$$\text{Caudal} = 55 \text{ Litros/min} * 1 \text{ m}^3/1000 \text{ litros} * 1 \text{ min}/60 \text{ s} = 0.0009166 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Area} = \pi * r^2 = \pi * 0,0133^2 \text{ m}^2 = 0.000556 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad} = \text{caudal}/\text{Area} = \frac{0.0009166 \text{ m}^3/\text{s}}{0.000556 \text{ m}^2} = 1.6494 \text{ m/s}$$

$$V_1 = 1.65\text{m/s}$$

$$V_2 = 1.65 \text{ m/s}$$

Presiones: Los tanques no están sellados por lo cual la presión será 1 atm.

$$P1= 0$$

$$P2= 0$$

Peso específico: debido a que la relación densidad temperatura es inversamente proporcional, se tomara la mayor densidad presente en el sistema para el punto 2.

$$p1= 974 \text{ kg/m}^3$$

$$p2= 995 \text{ kg/m}^3$$

Energía consumida por accesorios:

Coefficiente por condiciones de flujo de entrada:

La salida del tanque 1 es de tipo ahusado

$$k_1 = 0.5$$

Coefficiente por condiciones de flujo de salida:

La entrada del tanque 2 es de tipo ahusado

$$k_{10} = 1$$

Coefficiente de válvulas:

La válvula de compuerta es de 1 pulgada por lo cual su factor de fricción es de 0.023

$$k_2 = 8 f_T$$

$$k_2 = 8 * 0.023 = 0.184$$

Coeficiente por cambios de dirección:

El sistema tiene en total 5 cambios de dirección a 90 grados y dado que son del mismo diámetro su coeficiente será el mismo.

$$k_3 = k_4 = k_5 = k_6 = k_7 = k_8 = k_9$$

$$k = 30 * f_T$$

$$k = 30 * 0.023 = 0.69$$

Calculo de perdidas accesorios:

$$hl(accesorios) = \sum k * \frac{v^2}{2g}$$

$$hl(accesorios) = (0.5 + 1 + 0.184 + (7 * 0.69)) * \frac{(1.65m/s)^2}{2 * 9.81 m/s^2}$$

$$hl(accesorios) = 6.514 * 0.1387 m = 0.904 m$$

Pérdida por accesorio de intercambio de calor

Debido a que se desconocen varios datos al momento de modelar las pérdidas se hará una estimación en la energía perdida por este accesorio de un metro columna agua.

$$hl(intercambiador) = 1 m$$

Pérdidas por disipación viscosa en fluidos

Ya que las cuatro secciones son del mismo diámetro material y manejan las mismas velocidades se hallarán en una sola ecuación con la longitud total.

$$\text{Viscosidad del agua a temperatura ambiente} = 1.011 * 10^{-6} m^2/s$$

$$\text{Número de Reynolds} = \frac{V * D}{\text{viscosidad cinemática}} = \frac{1.65m/s * 0.0254m}{1.011 * 10^{-6} m^2/s} = 43412.46$$

Flujo turbulento > 4000

El flujo es turbulento por lo cual las pérdidas se calcularán con el método de Darcy

$$h_{l(tubería)} = f * \frac{L * v^2}{D * 2 * g}$$

cálculo de coeficiente de fricción:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{\epsilon}{3.7 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$$

La rugosidad absoluta de un tubo de acero tiene un valor de $7 * 10^{-5}$ m aproximadamente

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{7 * 10^{-5} \text{m}}{3.7 * 0.0266 \text{m}} + \frac{5.74}{45508^{0.9}} \right) \right)^2}$$

$$f = 0.0282$$

$$h_{l(tubería)} = f * \frac{2.985 \text{ m} * \left(\frac{1.65 \text{m}}{\text{s}} \right)^2}{0.0266 \text{ m} * 2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{l(tubería)} = 0.439 \text{ m}$$

Sumando todas las pérdidas se encuentra la pérdida total por accesorios y tubería h_l :

$$h_l(\text{total}) = h_l(\text{intercambiador}) + h_l(\text{accesorios}) + h_{l(tubería)}$$

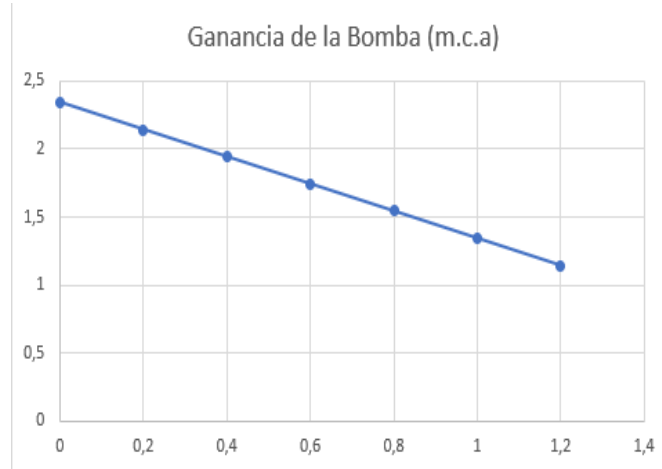
$$h_l(\text{total}) = 1 \text{m} + 0.904 \text{m} + 0.439 \text{m}$$

$$h_l(\text{total}) = 2.343 \text{ m}$$

Utilizando los datos calculados anteriormente se despeja la altura que debe suministrar la bomba en la ecuación de Bernoulli y se crea un ciclo en el cual la altura en el punto uno disminuye y la altura en el tanque 2 es constante para saber en qué punto se requiere más potencia.

$$h_A = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + h_R + h_l - z_1 - \frac{v_1^2}{2g} - \frac{P_1}{\gamma}$$

Figura 17. Gráfica de Nivel del Tanque 1 vs Ganancia requerida por la bomba en metros columna de agua.



Según la gráfica, el punto en el cual la bomba va a tener que suministrar mayor potencia es cuando en el tanque del líquido a pasteurizar no haya líquido, y su valor es de 2.343 metros.

$$\text{potencia teórica de una bomba} = \rho * g * Q * h_A$$

$$\text{potencia} = \frac{1000kg}{m^3} * 9.81 \frac{m^2}{s} * 0.0009166 \frac{m^3}{s} * 2.343 \text{ m}$$

$$\text{potencia requerida} = 21.07 \text{ vatios}$$

$$\text{potencia suministrada por la bomba existente} = 559 \text{ vatios}$$

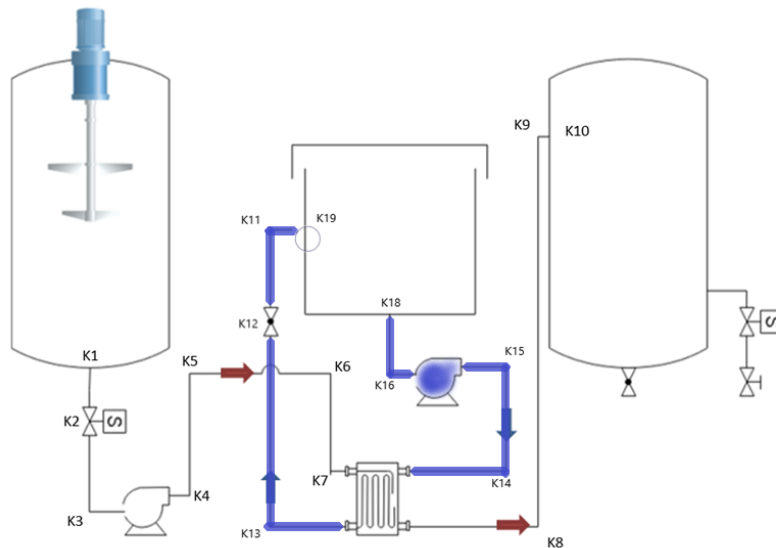
$$\text{factor de seguridad} = \frac{\text{potencia suministrada}}{\text{potencia requerida}} = \frac{559}{21.07} = 26.53$$

Como podemos corroborar con los cálculos al ser mayor que 1 el factor de seguridad se puede verificar que la bomba tiene la capacidad para poder realizar la tarea correspondiente

4.2.4 Potencia de bomba del sistema refrigerante:

El segundo cálculo que se va a realizar es la potencia requerida por la segunda bomba para trasladar el líquido responsable de enfriar el líquido pasteurizado (circuito hidráulico resaltado con azul en la siguiente imagen).

Figura 18. Circuito hidráulico del líquido refrigerante.



De la misma forma que se analizó con la ecuación de Bernoulli en el caso anterior, se procede a analizar los puntos del sistema que coinciden con K18 y 2cm arriba de K19 para realizarlo en condiciones críticas de bajo nivel, con:

$$Z1 = 2\text{cm}, Z2 = 51\text{cm}$$

$$P1=0, P2 = 0,$$

Se procede a calcular el sistema con un flujo deseado de 40L/min, teniendo en cuenta que los tubos son de 1 pulgada calibre 40:

$$Q_{Ref} = 40\text{L/min} = 6.66 * 10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$$

$$A_t = \pi/4 * D_i^2$$

$$A_t = \pi/4 * (26.6 * 10^{-3}\text{m})^2 = 5.56 * 10^{-4}\text{m}^2$$

$$v = Q/A$$

$$v = \frac{6.66 * 10^{-4} m^3/s}{5.56 * 10^{-4} m^2} = 1.199 m/s$$

Donde:

Q_{Ref} : Es el flujo deseado del refrigerante que es 40L/min.

D_i : Es el diámetro interno del tubo, en este caso, 1 pulgada cédula 40 que equivale a 26.6mm.

v : Es la velocidad del fluido en el sistema.

Posteriormente se calculan las pérdidas generados por los cambios de dirección y cambios de diámetro en el sistema empezando con sus coeficientes de resistencia:

$$K_{codos} = K_{11} + K_{13} + K_{14} + K_{15} + K_{16} = 5 * 30 * f_T$$

$$K_{codos} = 5 * 0.69 = 3.45$$

$$K_{18} = 0.5$$

$$K_{19} = 1$$

Donde:

$K_{11,13-16}$: Son coeficiente de resistencia por codos de 90°.

K_{18} : Coeficiente de resistencia por entrada de bordes afilados.

K_{19} : Coeficiente de resistencia por salida.

El total de las pérdidas de los codos, entrada y salida es calculado con ayuda de la gravedad y la velocidad del flujo:

$$\sum (K_{codos} + K_{18} + K_{19}) * \frac{v^2}{2 * g} = (3.45 + 0.5 + 1) * \frac{1.199^2 m^2/s^2}{2 * 9.81 m/s^2}$$

$$\sum (K_{codos} + K_{18} + K_{19}) * \frac{v_1^2}{2 * g} = 0.362 m$$

Donde:

v : es la velocidad del flujo.

g : gravedad.

Para calcular la pérdida generada por la válvula de globo, se utilizó la fórmula de coeficiente de flujo para hallar la pérdida de presión que había:

$$Q_{Ref} = C_v \sqrt{\Delta P_{valv}/sg} \rightarrow \Delta P_{valv} = \left(\frac{Q_{Ref}}{C_v} \right)^2 sg$$

$$Q_{Ref} = 40L/min = 10.5669gal/min$$

$$\Delta P_{valv} = \left(\frac{10.5669gal/min}{90 \frac{in * gal}{min * \sqrt{lb}}} \right)^2 * (1) = 0.01378psi \approx 95Pa$$

$$h_v = \Delta P_{valv}/\gamma$$

$$h_v = \frac{95Pa}{9810N/m^3} = 9.683 * 10^{-3}m$$

Donde:

ΔP_{valv} : Es la presión de pérdida ocasionada por la válvula abierta al 100%.

sg: Es la gravedad específica o densidad relativa del refrigerante.

γ : El peso específico del refrigerante.

h_v : Pérdida causada por válvula de bola 100% abierta.

$$h_R = \sum (K_{codos} + K_{18} + K_{19}) * \frac{v_2^2}{2 * g} + h_v + h_{Ref}$$

$$h_R = 0.362m + 9.683 * 10^{-3}m + 1m$$

$$h_R = 1.371m$$

h_R :Es la pérdida generada los accesorios.

h_{Ref} :Es la pérdida causada por el intercambiador de calor que se estima a 1m.

h_v : Pérdida causada por válvula de bola 100% abierta.

g : gravedad.

Para hallar las pérdidas por longitud de recorrido y material se procede a hallar el número de Reynolds:

$$Re = \frac{v_2 * D_i}{\nu}$$

$$Re = \frac{1.199m/s * 26.6 * 10^{-3}m}{1.15 * 10^{-6}m^2/s}$$

$$Re = 27733.39$$

$$D_i/\epsilon = \frac{26.6 * 10^{-3}m}{4.6 * 10^{-5}m} = 578.26$$

Re: Numero de Reynolds.

ϵ : Rugosidad absoluta.

D_i : Diámetro interior del tubo.

V: Viscosidad cinemática.

D_i/ϵ : Rugosidad relativa.

Debido a que Re es mayor a 4000 y D_i/ϵ está entre 100 y 10^8 , es posible calcular el factor de fricción del sistema por medio de la ecuación de Darcy:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{3.7 * D_i/\epsilon} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{3.7 * 578.26} + \frac{5.74}{27733.39^{0.9}} \right) \right)^2} = 0.0284$$

$$h_l = f * \frac{L}{D_i} * \frac{v_1^2}{2 * g}$$

$$h_{l(tubos)} = 0.0284 * \frac{0.171m}{26.6 * 10^{-3}m} * \frac{(1.199m/s)^2}{2 * 9.81m/s^2}$$

$$h_l = 0.0133m$$

Donde:

f: Factor de fricción.

Re: Numero de Reynolds.

L: Longitud total de los tubos del sistema.

ϵ : Rugosidad absoluta.

D_i : Diámetro interior del tubo.

D_i/ϵ : Rugosidad relativa.

Teniendo las pérdidas calculadas es posible hallar la ganancia necesaria de la bomba para poder:

$$A_T = 31 * 10^{-2}m * 62 * 10^{-2}m = 0.1922m^2$$

$$Q = 40\text{L/min} = 6.66 * 10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$$

$$v_1 = \frac{6.666 * 10^{-4}\text{m}^3/\text{s}}{0.1922\text{m}^2} = 3.47\text{m/s}$$

$$h_A = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + h_R + h_l - Z_1 - \frac{v_1^2}{2g} - \frac{P_1}{\gamma}$$

$$h_A = 0.51\text{m} + \frac{(1.199\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} + 0 + 1.371\text{m} + 0.0133\text{m} - 0.02\text{m}..$$

$$\dots - \frac{(3.47 * 10^{-3}\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} - 0$$

$$h_A = 1.947\text{m}$$

Donde:

A_T : Área transversal del Tanque del refrigerante.

Z_1 : Nivel del tanque refrigerante.

Z_2 : Altura de retorno del refrigerante al tanque refrigerante.

P_1 : Presión en el punto 1.

P_2 : Presión en el punto 2.

v_1 : Velocidad de descenso del nivel del tanque del refrigerante.

v_2 : Velocidad de retorno del refrigerante.

h_A : Ganancia necesaria de la bomba para generar el flujo de 40L/min.

h_R : Es la pérdida generada los accesorios

Q : Caudal del sistema.

Ya hallada la ganancia necesaria en altura, es necesario hallar la potencia necesaria para generarla teniendo en cuenta el flujo volumétrico que se desea.

$$P_{\text{Bomba de refrigeración}} = h_A * Q * \gamma$$

$$P_{\text{Bomba de refrigeración}} = 1.947\text{m} * 666.666 * 10^{-6}\text{m}^3/\text{s} * 9810\text{N/m}^3$$

$$P_{\text{Bomba de refrigeración calculada}} = 12.73\text{W}$$

γ : Peso específico de refrigerante.

Q : Flujo volumétrico.

$$P_{\text{Bomba de refrigeración suministrada por la bomba existente}} = 559.27W$$

$$\text{Factor de seguridad} = 559.27W/12.73W = 43.92$$

Como se puede observar, la potencia necesaria para llevar a cabo esta tarea es muy pequeña en comparación a la suministrada por la bomba, y con ayuda del factor de seguridad se corrobora que tiene la capacidad para hacerlo.

4.2.5 Selección de disyuntores y contactores:

La selección de disyuntores y contactores es influenciada por el consumo de todos los componentes en el tablero eléctrico, más específicamente la corriente de línea de cada componente.

Tabla 8. Corriente consumida en la rama 1.

Componente	Corriente por línea(A)
Motor M1(mezclador)	2,2
Variador de frecuencia	4
Fuente dc	0,68
Transformador	0,96
Total Rama1	7,84

$$i_{L \text{ Resistencia}} = \sqrt{3} * i_{f \text{ Resistencia}}$$

$$i_{L \text{ Resistencia}} = \sqrt{3} * 10.4A = 18.013A$$

En la segunda rama, se encuentra ubicada la resistencia trifásica que es activada por una señal DC mediante un SCR.

Tabla 9. Corriente consumida en la rama 2.

Componente	Corriente por línea (A)
Resistencias en triangulo	18,013

El disyuntor seleccionado para la segunda rama es de 20A, dejando un margen aproximado de 2A.

Tabla 10. Corriente consumida en la rama 3.

Componente	Corriente por línea (A)
Resistencias en triangulo	3,2

$$i_{sistema} = i_{rama1} + i_{rama2} + i_{rama3}$$

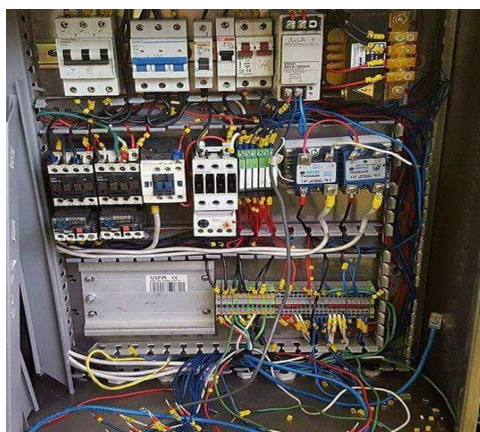
$$i_{sistema} = 7.84A + 18.01A + 3.2A = 29.05A$$

Para la protección de todo el cuadro eléctrico se tomó en cuenta el consumo de corriente total, en este caso, la suma de todas las corrientes de cada rama 29A, por lo cual se optó por un disyuntor de 32A.

4.3 Fase 3. Recableado de la planta

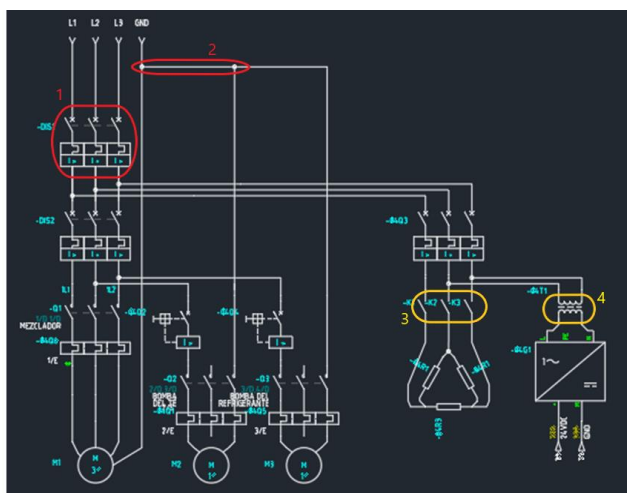
Con el fin de entender el funcionamiento del plano eléctrico inicial se procedió a realizar un levantamiento de información y posteriormente analizar qué tipo de problemas existían en el circuito existente.

Figura 19. Foto del estado inicial del interior del cofre eléctrico.



Por medio del software AutoCAD Electrical se realizó el plano eléctrico inicial:

Figura 20. Circuito de potencia inicial de la planta pasteurizadora. (Anexo B)



4.3.1 Problemas encontrados en el cuadro de potencia:

1. Los cables que permitían el ingreso de energía al sistema son cables AWG TW calibre 14, soportan una corriente máxima de 15A, lo cual es inferior a la corriente soportada de 40A del disyuntor que está protegiendo los componentes eléctricos de la planta. Por tanto, cuando por un cortocircuito no deseado haya una corriente alta que supere las capacidades de los cables y esté por debajo de la corriente nominal del disyuntor, las temperaturas de los cables serían elevadas y posteriormente si no se actúa, éstos se quemarán junto con los demás componentes.
2. En el esquema de la conexión eléctrica inicial, se logra observar que la tierra del sistema estaba siendo energizada alimentando a su vez a dos actuadores. Quedando sin protección ante un cortocircuito entre una fase y dicha tierra. Siendo lo correcto que la tierra estuviera aislada con el objetivo de descargarla en caso de un corto y con el fin de co-alimentar los actuadores, usar neutro.
3. La activación de la resistencia trifásica demanda más energía, espacio dentro del cofre y cableado con la combinación dos SCR monofásicos y un contactor. Además, Los relés de estado sólidos no tenían una superficie suficiente para transferir calor.
4. La fuente de voltaje DC puede ser alimentada con un voltaje de 100V hasta 240V, por tanto, dos fases pueden ser usadas para alimentar dicha fuente quedando prescindible el transformador.
5. Los cables encargados de conducir la corriente de las fases no seguían ninguna normativa en sus colores, presentando colores aleatorios.

Una vez que se comprendió el estado de las conexiones se procedió a desconectar todo el plano eléctrico existente para volver a conectarlo de acuerdo con el código de colores de la norma retie.

Tabla 11. Colores de polos.

Sistema c.a.	1Φ	1Φ	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ-	3ΦY	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ	3ΦY
Tensión nominal (voltios)	120	240/120	208/120	240	240/208/120	380/220	480/277	480 - 440	Más de 1000 V	Más de 1000 V
Conductor activo	1 fase 2 hilos	2 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases	3 fases
Fase	Color fase o negro	Color fases o 1 Negro	Amarillo Azul Rojo	Negro Azul Rojo	Negro Naranja Azul	Café Negro Amarillo	Café Naranja Amarillo	Café Naranja Amarillo	Violeta Café Rojo	Amarillo Violeta Rojo
Neutro	Blanco	Blanco	Blanco	No aplica	Blanco	Blanco	Blanco o Gris	No aplica	No aplica	No Aplica
Tierra de protección	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	No Aplica
Tierra aislada	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	No aplica	No aplica	No Aplica

Fuente: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

4.3.2 Adaptación de motor monofásico (líquido a pasteurizar):

4.3.3 Adaptación de circuito de accionamiento de la resistencia:

Figura 21. Nuevo circuito de Potencia en la planta pasteurizadora. (Anexo C)



El circuito de potencia es alimentado por tres líneas, L1, L2 y L3, con un voltaje aproximado a 208V entre línea y línea, con la finalidad de suplir el consumo de los diferentes actuadores. Siendo M1 el mezclador, M2 la bomba encargada de transportar el pasteurizado, M3 la bomba que genera el flujo del refrigerante, G1 la fuente de 24V y las tres resistencias en configuración delta, las resistencias de la calefacción.

Figura 22. Circuito de entradas digitales del módulo del PLC. (Anexo E)

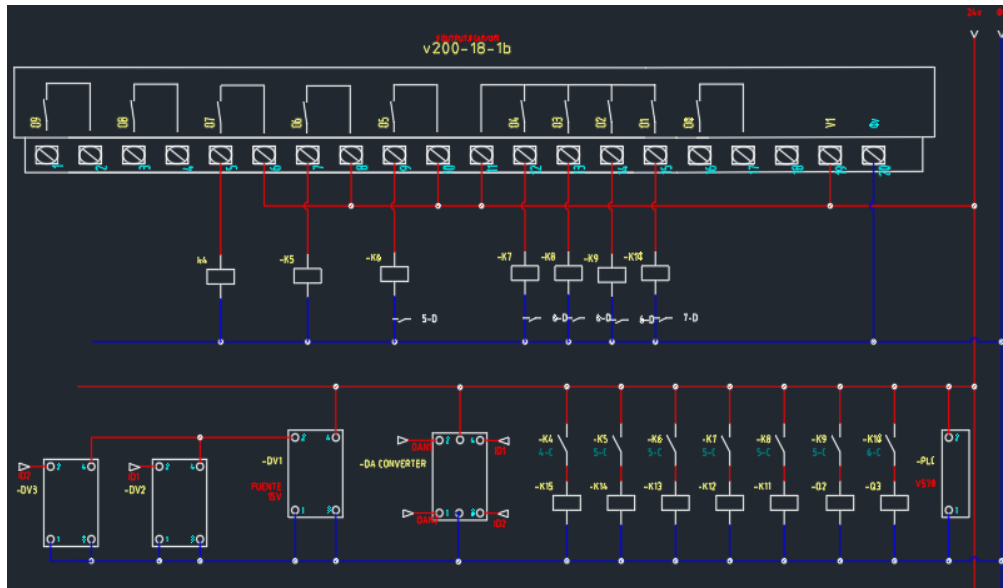


Parte del circuito de control está conformado por las entradas del módulo del PLC, que recibe la señal de S1, paro de emergencia, y los sensores de nivel siendo:

Tabla 12. Componentes del Circuito de entradas digitales del módulo del PLC.

Componente	Descripción
K16	Indicador del nivel superior del tanque 1.
K17	Indicador del nivel superior del tanque 2.
K18	Indicador del nivel inferior del tanque 2.
K19	Indicador del nivel inferior del tanque 1.

Figura 23. Circuito de salidas del módulo del PLC. (Anexo F)



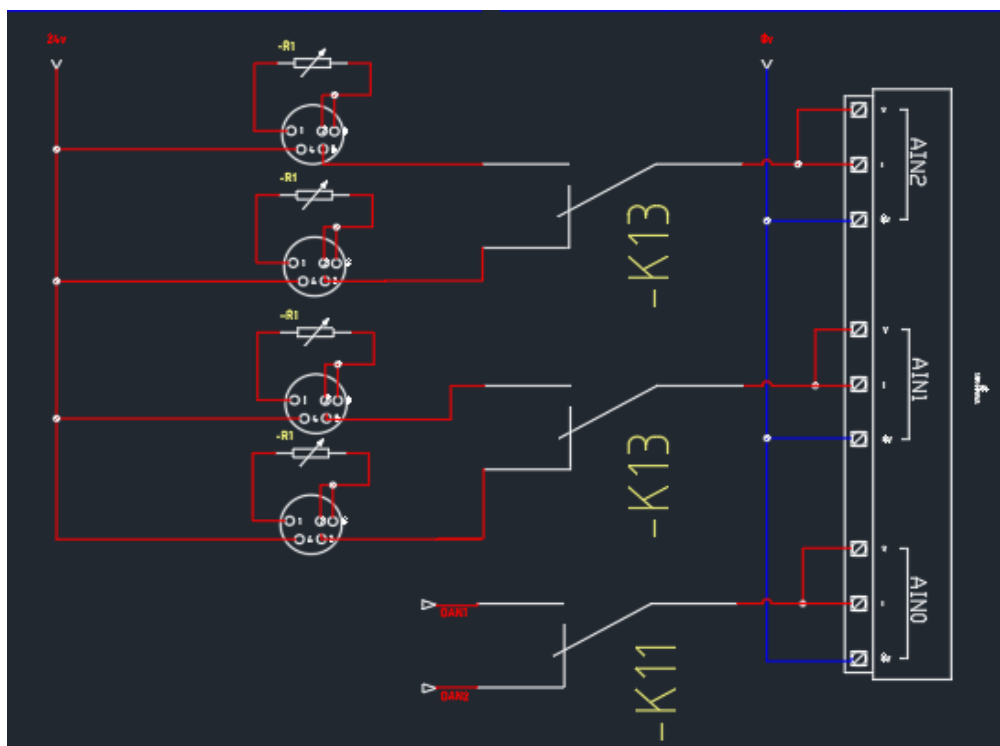
A pesar de que las salidas del módulo v200-18-1B son capaces de soportar corrientes altas, están conectadas a relés que a su vez activan a otros relés activando así su objetivo final, con el fin de proteger a éste de cortos-circuitos. Por otro lado, con ayuda del convertor Digital-Analógico, se convierte las señales de pulsos de los flujómetros a voltajes analógicos para ser leídos por las entradas analógicas.

Tabla 13. Componentes del circuito de las salidas del módulo del PLC.

Componente	Descripción
K10	Relé Bomba refrigerante.
K9	Relé Mezclador.
K8	Relé de flujos.
K7	Relé Válvula del tanque 2.
K6	Relé de Temperaturas.
K5	Relé Válvula del tanque1.
K4	Relé de resistencia.
PLC	PLC Unitronix v570.
K15	Relé directo de la resistencia.
K14	Relé directo Válvula del tanque1.
K13	Relé directo de Temperaturas.

K12	Relé directo Válvula del tanque 2.
K11	Relé directo de flujos.
Q2	Relé directo mezclador
Q3	Relé directo Bomba refrigerante.
Q4	Valvula del tanque 1
Q5	Valvula del tanque 2
DA CONVERTER	Conversor digital a análogo.
DV1	Fuente de 15V.
DV2	Flujómetro 1.
DV3	Flujómetro 2.

Figura 24. Circuito de entradas analógicas del módulo. (Anexo G)



En este esquema eléctrico, se observa la conexión de las entradas analógicas al módulo dadas por las corrientes de los transmisores de PT100 y las señales convertidas de los flujómetros, además, debido a la limitada cantidad de entradas analógicas para las señales que hay, se optó por multiplexar éstas últimas de a dos señales por entrada.

Sensores:

Debido a que inicialmente la planta fue diseñada para observar y controlar la temperatura del líquido a pasteurizar, carecía de varios sensores esenciales para poder llevar a cabo el monitoreo de las variables deseadas, por lo cual se tuvieron que adicionar 5 sensores más para realizar los controles de flujo y temperatura.

- 2 caudalímetros
- 3 pt 100

Caudalímetro:**Características técnicas:**

- Voltaje de funcionamiento: 5V ~ 18V
- Corriente máxima de operación: 10mA
- Exactitud en el Rango de flujo: hasta 10%
- Resistencia a la presión del agua: < 1.2Mpa (12 bar)
- Capacidad de carga: ≤ 10 mA (@5V)
- Tubo de 1"
- Un litro de agua ha fluido después de 288 pulsos de salida
- Frecuencia: $F = 4.8 * Q$ (L / Min)
- Material: plástico sólido
- Temperatura de operación: -25°C ~ 80°C

Funcionamiento:

Mide el flujo del agua por medio de un rotor interno de agua que activa un sensor de efecto Hall, este sensor envía pulsos por cada rotación y de acuerdo con la tasa de conversión pulsos/frecuencia se interpreta cuantos litros han pasado.

Adaptación:

Debido a que el PLC, el medio para adquirir los datos no lee entradas con una frecuencia tan alta, se optó por acondicionar la señal con un circuito que convierta la frecuencia en voltaje de manera lineal.

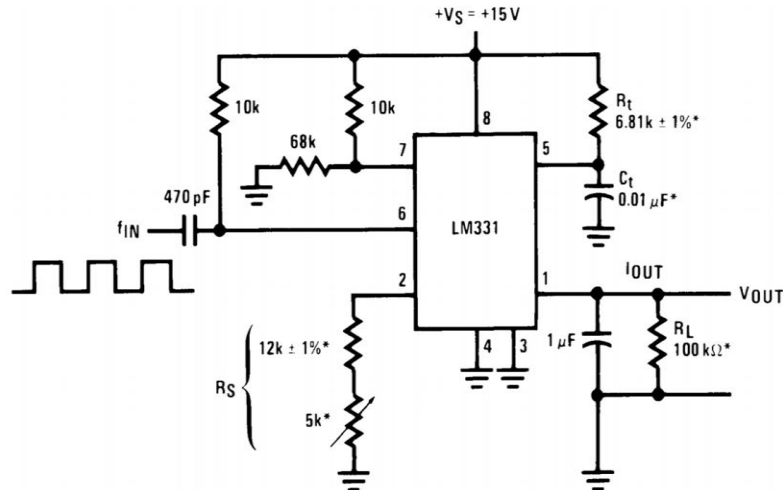
$$\text{Frecuencia requerida} = 4.8 * 44 \text{ l/min} = 211 \text{ Hz}$$

Circuito de conversión frecuencia voltaje:

Este circuito utiliza el integrado LM331, el cual permite la conversión lineal de la frecuencia en voltaje con la configuración de resistencias y condensadores que se especifica en su datasheet, además se le adicionó un circuito de amplificación con una ganancia de 6, para amplificar la señal

debido a que la señal de salida era demasiado baja para ser leída por el PLC. Se verificó su linealidad realizando una tabulación de la frecuencia con respecto al voltaje de salida.

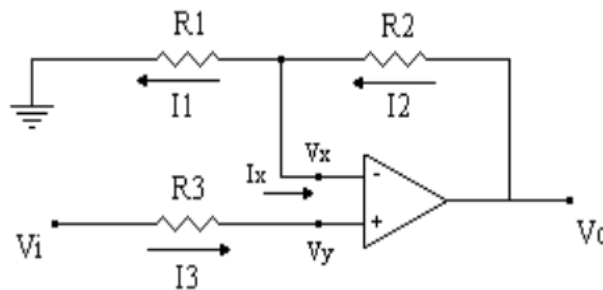
Figura 25. Circuito de conversión frecuencia-voltaje.



Fuente: Datasheet FairChild lm331

Para graduar la tasa de conversión se gradúa la resistencia de entrada del pin 2 y por medio de un potenciómetro se evaluó iterativamente que valor permitía generar un voltaje de salida que se encontrara dentro de los parámetros requeridos.

Figura 26. Circuito de amplificación.



Fuente: <https://st-elf.electronicafacil.net/tutoriales/194/image12.gif>

Calculo de resistencias:

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_2 \\
 I_x &= 0 \\
 \frac{v_o - v_x}{R_2} &= \frac{v_x - 0}{R_1} \\
 V_y &= V_i \\
 V_x &= V_y
 \end{aligned}$$

$$\frac{v_o - v_i}{R_2} = \frac{v_i}{R_1}$$

$$v_o = \frac{v_i * R_2}{R_1} + v_i = v_i * \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right)$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{5,1 \text{ K}\Omega}{R_1} + 1 = 6$$

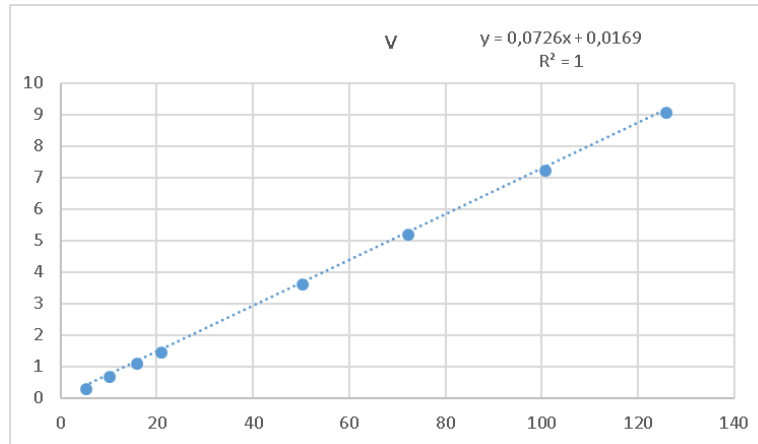
$$R_1 = \frac{5,1 \text{ K}\Omega}{5} = 1,02 \text{ K}\Omega$$

Seleccionamos una resistencia y la otra se calcula:

Tabla 14. Tabulación frecuencia y voltaje.

Hz	V
4,99	0,35
9,71	0,72
15,5	1,145
20,55	1,52
49,9999	3,66
71,815	5,26
100,38	7,28
125,5	9,12

Figura 27. Gráfica de frecuencia vs voltaje.



Sensor pt100:

Los sensores pt100 funcionan a base de un material que varía su resistencia con respecto a la temperatura a la que es expuesto, por lo cual su variación tiene un comportamiento no lineal.

Características técnicas:

Longitud de tubo de protección	10cm
Diámetro de parte de la sonda	0.05cm
3 hilos (rosca cónica)	1/4 pulgada
Rango de medición	-50°C a +420°C
Longitud de sonda	16cm

Adaptación de la señal:

A causa de que el dispositivo de adquisición de las señales que se empleó está capacitado para leer voltajes o corrientes dentro de ciertos parámetros se añadió un conversor que permite la conversión del valor recibido en ohmios por las pt100 a corrientes de 4 – 20mA los cuales son valores muy comunes dentro de la industria, y que además realiza una linealización de dicha señal.

Figura 28. Gráfica Registro de bits PLC vs Temperatura del tanque 1.

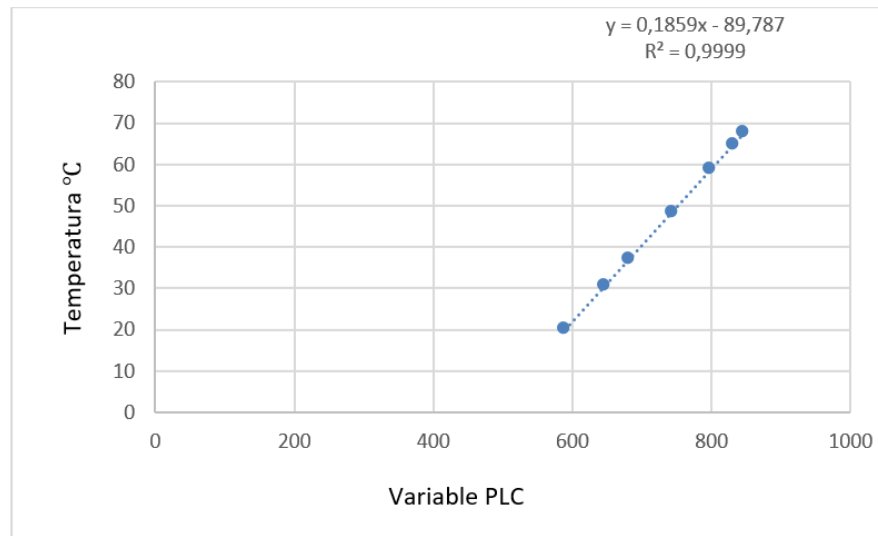
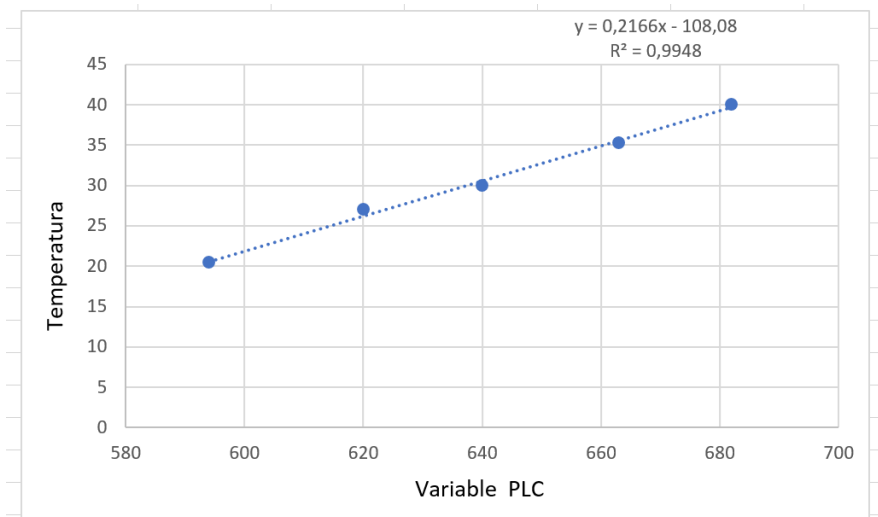


Figura 29. Gráfica Registro de bits PLC vs Temperatura del tanque 2 y refrigerante.



Multiplexación:

A causa de que el dispositivo de adquisición de las señales análogas tiene tres entradas y se necesitaba leer seis sensores análogos, se optó por multiplexar las señales de las temperaturas con intervalos de 2 segundos a través de un relé para poder realizar el muestreo de las señales, los caudalímetros se energizan dependiendo del momento en el cual se requiera la lectura de dicha señal.

4.4 Fase 4: Adaptaciones mecánicas

Instalación de sensores:

Para modelar las variables existentes en el proceso de pasteurización se necesita saber el estado de los líquidos en las entradas y salidas del intercambiador, y poder estimar qué tanto calor pierden o ganan dichos líquidos, por lo que se tuvieron que adicionar tres racores para los sensores de temperatura en diferentes puntos de la planta, además de adaptar dos secciones de la tubería para la instalación de los caudalímetros.


Figura 30. Foto de flujómetro utilizado en la planta.



Figura 31. Foto de racor soldado para instalación de PT100.



Tabla 15. Adaptación mecánica del tanque 1.

Instalación de silenciador neumático:	
<p>Figura 32 . Foto de la instalación del silenciador neumático.</p> 	
<p>Problema: Ya que el tanque debe estar cerrado para no contaminar el líquido a pasteurizar, se puede ocasionar un vacío por la fuerza de succión que ejerce la bomba al momento de bombear el líquido pasteurizado.</p>	<p>Solución: Se adiciono un silenciador poroso que cumplirá la función de dejar entrar aire al tanque para eliminar ese vacío en caso de generarse, pero sin dejar entrar partículas que puedan llegar a contaminar el líquido.</p>

4.5 Fase 5: Programación del PLC y su interfaz:

4.5.1 Requerimientos de PLC:

Salidas:

- Conmutador de termorresistencia (lento) digital.
- Conmutador de mezclador (lento) digital.
- Protocolo de comunicación sr232 para variador de frecuencia.
- Conmutador bomba 2 (lento) digital.
- 2 relés para multiplexar sensores.
- 2 válvulas para el flujo en las tuberías (lentas) Digitales.

7 digitales y protocolo de variador de frecuencia RS232

Entradas:

- 4 sensores de temperatura (pt 100) - analógico.
- 4 sensores de nivel – digitales.
- 2 sensores de flujo (rápido) - analógico.
- Pantalla táctil (ethernet).
- Botón de paro de emergencia.

Debido a que se va a realizar una multiplexación para las entradas analógicas la cantidad de entradas necesarias para realizar la adquisición de dichas señales se reduce a la mitad.

5 digitales y 3 análogos

PLC:

Para realizar la adquisición del autómatas programable se miraron diferentes opciones dentro de los proveedores y se concluyó con la compra del PLC Unitronix Vision 570V con un módulo de entradas V200 – 18 – E1B el cual cuenta con las características requeridas y presentaba diferentes ayudas al momento de programar la pantalla y reducir el espacio en su instalación además de que su empresa presenta un mejor soporte en caso de que existieran problemas en un futuro.

Características PLC Unitronics:

Tiempo de escaneo: 9 microsegundos

Entradas digitales: 16

Salidas a relé: 10

Salidas rápidas: 4 pnp y 4 npn

Entradas análogas: 3 para corrientes y voltajes (0 -20 mA, 4- 20 Ma Y 1-10 V)

Velocidad de entradas digitales :10 ms

Velocidad de conversión entradas análogas: igual a tiempo de escaneo

Frecuencia de salidas rápidas: 20 KHz

Protocolo de comunicación: RS232, RS485, USB y Ethernet.

Tiene pantalla HDMI incluida.

Lenguaje de programación: Ladder.

Costo: 1.200.000

Tabla 16. Variables y Registros de la programación.

Elemento	Designación (símbolo)	Operando (dirección)	Comentario
Interruptor de Botón	S1	I0	Paro de emergencia
Interruptor lateral magnético de flotador	K16	I1	Nivel bajo Tanque 1
Interruptor lateral magnético de flotador	K17	I2	Nivel alto Tanque 1
Interruptor lateral magnético de flotador	K18	I3	Nivel bajo Tanque 2
Interruptor lateral magnético de flotador	K19	I4	Nivel alto Tanque 2
Relé	K10	O1	Bomba Refrigerante

Relé	K9	O2	Mezclador
Relé	K8	O3	Conmutación Lectura de Flujos
Relé	K7	O4	Electroválvula Tanque 2
Relé	K6	O5	Conmutación Lectura de Temperaturas
Relé	K5	O6	Electroválvula Tanque 1
Relé	K4	O7	Resistencia
Relé	K5	Q0.4	Control ingreso agua tanque 3
Relé	K11	AIN0	Lectura Temperaturas Líquido Caliente Tanque 1 NA Tanque 2 NC
Relé	K13	AIN1	Lectura Flujos Líquido Caliente NC Líquido Frío NA
Relé	K13	AIN2	Lectura Temperaturas Líquido Frío Entrada Intercambiador NC Salida Intercambiador NA
Contactor energizar motor	KM2	Q0.6	Control energía de la bomba 2
Driver AC	DV	PORT 2	Comunicación MODBUS para control de velocidad de la Bomba del pasteurizado.

4.5.2 Programación:

Para la comunicación y programación se usará el programa VisiLogic proporcionado por la empresa Unitronics de manera gratuita, el cual cuenta con dos pestañas para seleccionar entre la programación de la ventana y la del PLC. Para programar el PLC se usará el COM 1 del PLC a través del puerto USB, para usar este puerto se debe descargar los drivers de comunicación desde el programa.

Figura 33. Ventana de instalación de drivers para programación.



Ventana inicial:

Figura 34. Ventana de Inicio.



En esta ventana se muestra el logo de la universidad San Buenaventura acompañado de un botón de inicio el cual al ser presionado está programado para dar un salto a la ventana de Menú.

Ventana de Menú:

Figura 35. Ventana de Menú.



En la ventana de menú es donde el usuario podrá ir a las diferentes opciones del programa por lo que cada uno de los botones está programado para ir a una diferente ventana, cada una con una tarea específica a realizar.

Ventana sensores

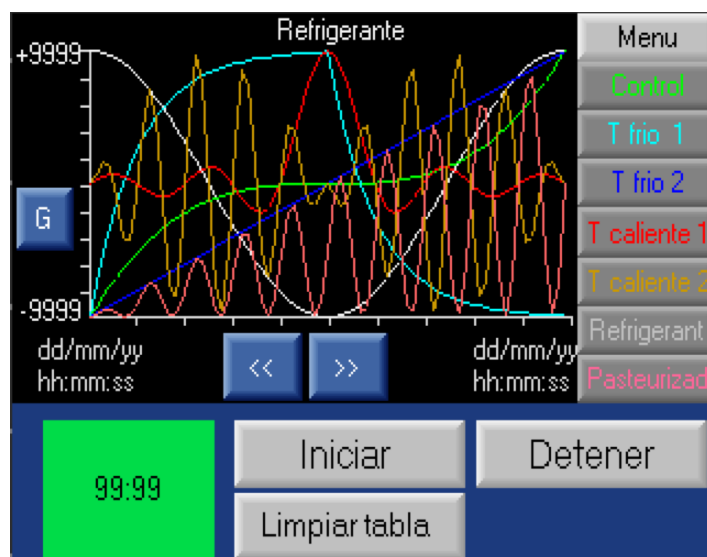
Figura 36. Vetana Sensores.



La ventana sensores permite la visualización de las variables presentes en el proceso, ayudando al usuario a saber su valor para poder interpretar posibles problemas dentro del sistema, los dos bombillos corresponden a los dos sensores de nivel del tanque 1 y se encenderán los dos de color verde para indicar si se encuentra lleno o solo uno si tiene poca agua.

Ventana Muestreo

Figura 37. Ventana Muestreo.



En esta ventana es donde se realizará el muestreo de todas las variables del proceso, en el costado derecho se encuentran siete botones con una variable del sistema escrito y de un color definido, al presionarse aparecerá o desaparecerá la gráfica de dicha variable de la ventana permitiendo así al usuario analizar con más claridad el comportamiento del proceso. En la parte izquierda inferior se encuentra el botón iniciar, el cual al ser tocado comenzará a tabular todos los datos de los sensores analógicos y la señal de referencia proporcionada por el usuario mientras el timer tenga un valor diferente a cero, una vez terminado el timer se reiniciará y se podrá volver a iniciar el muestreo, la tabla tiene una cantidad de espacio determinado por lo cual una vez llena no podrá registrar más datos, por tal motivo si se necesita realizar más pruebas se deberá guardar la tabla actual y limpiar la tabla con el botón “limpiar tabla”

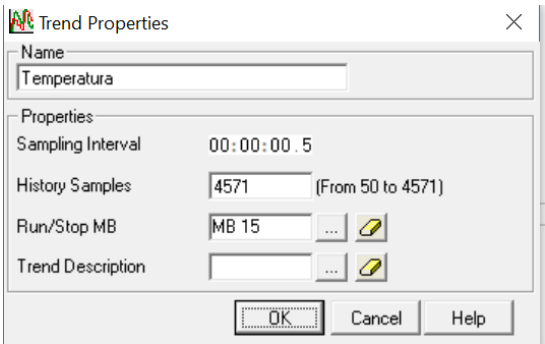
Para descargar los datos se deberá ir al programa y abrir el menú de tablas y descargar dicha tabla con el botón “leer estructura y valores del PLC” una vez leídos los datos por el computador se podrán copiar y pegar como cualquier tabla en Excel.

Figura 38. Ventana de Tabulación de Variables.

Row	time (Timer, R)	flow warm (Float, R)	flow cold (Float, R)	emp int warr (Float)	emp out warr (Float)	emp int colc (Float)	emp out colc (Float)	frecuencia (Integer)
0	00:00:00.00	0.5885805	0.5885805	0	18.631	19.0642	0	1500
1	00:00:00.50	0.5885805	0.5885805	71.4062	18.631	19.0642	17.7646	1500
2	00:00:01.00	0.5885805	0.5885805	71.4062	18.631	19.0642	17.7646	1500
3	00:00:01.50	0.5885805	0.5885805	71.4062	18.631	19.0642	17.7646	1500
4	00:00:02.00	0.5885805	0.5885805	71.4062	18.631	19.0642	17.7646	1500
5	00:00:02.50	0.8738872	0.5885805	71.4062	18.631	19.0642	17.7646	1500

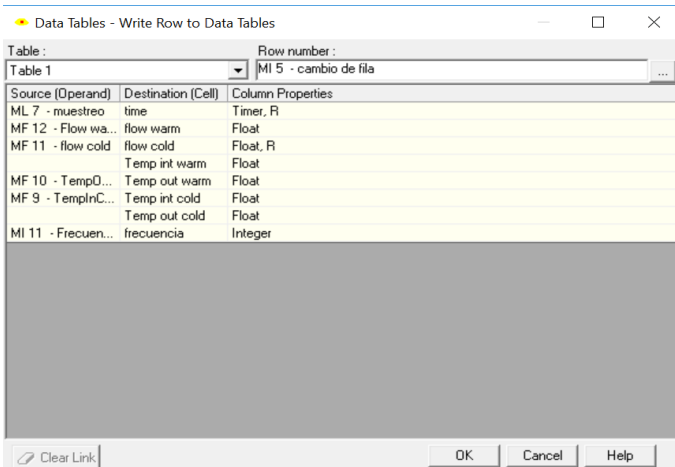
El módulo para graficar es proporcionado por el programa y permite graficar hasta ocho variables en una gráfica, para su configuración se debe ingresar el tiempo de muestreo, el nombre de la gráfica, la variable que da inicio al proceso y la cantidad de datos que se van a asignar a cada gráfica siendo 32000 la cantidad de espacios disponibles para todas las gráficas.

Figura 39. Ventana de configuración de gráficas.



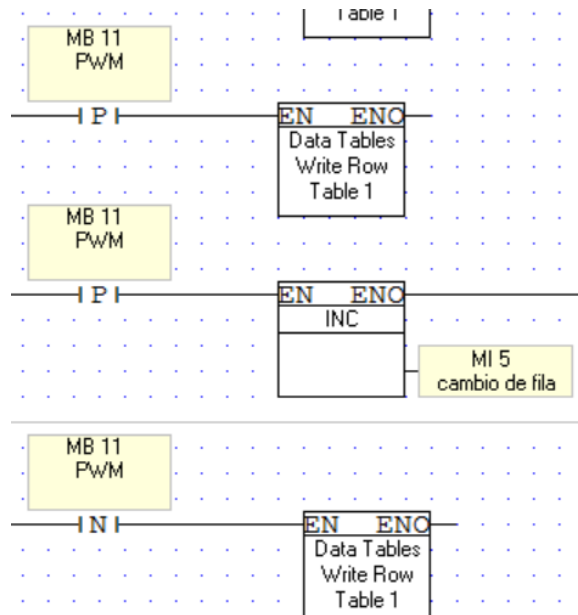
Para la configuración de las tablas se creó una tabla con siete columnas y mil doscientas filas donde al momento de crearse se definió qué tipo de dato albergaría cada columna y con el módulo de escritura se configuró cuando escribir con el flanco de subida y bajada.

Figura 40. Ventana de escritura de variables.



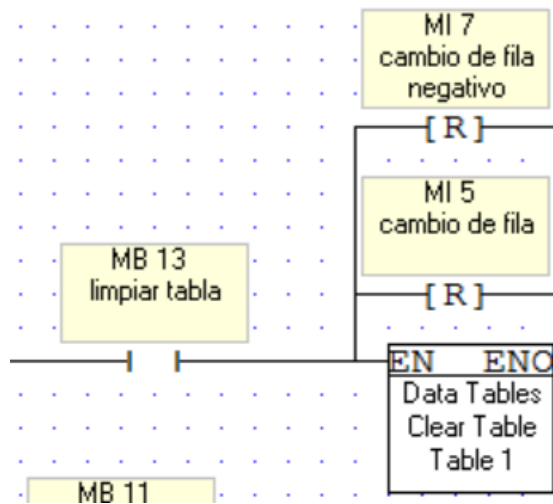
Para usar el módulo de escritura se configuró un PWM el cual a través de flancos de subida y bajada escribe en la tabla determinadas variables coordinadas por una variable MI 5 la cual se encarga de realizar el cambio de fila.

Figura 41. Programación de escritura y cambio de fila de tablas.



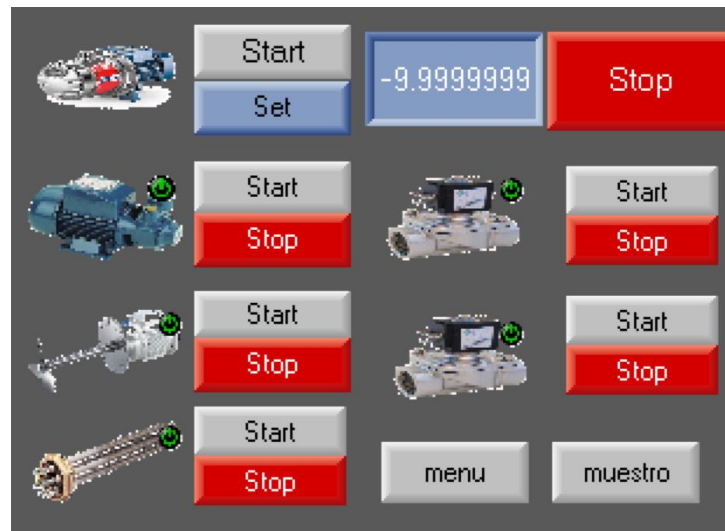
Para limpiar las tablas al momento de acceder al módulo de graficar nos piden asignarle una variable de activación y reinicio de la ventana, estas están configuradas para activarse con la señal de la obturación del botón de limpiar tabla e iniciar para reiniciar la variable de cambio de fila.

Figura 42. Programación de limpiar tabla.



Ventana Manual

Figura 43. Ventana de Control Manual.



En esta ventana se podrán encontrar todos los actuadores del sistema, es donde por medio de los botones de Start y Stop el usuario podrá cerciorarse de que los actuadores estén funcionando, adicionalmente podrá hacer cualquier prueba que desee, también tendrá accesos a las ventanas de muestreo y menú con los botones ubicados en la parte inferior derecha. Para poner en funcionamiento la bomba del líquido a pasteurizar deberá estar abierta la válvula 1, después ingresar la frecuencia a la que se desea poner en funcionamiento el motor y presionar el botón set para fijarlo.

Protocolo de comunicación

La comunicación entre el PLC y el variador de frecuencia se hizo por medio de RS485 ya que esa era el protocolo que ofrecía el variador, se tuvieron que realizar dos configuraciones para que la comunicación funcionara correctamente, una para el PLC y otra para el variador.

Para configurar los parámetros básicos de comunicación se utilizó un módulo del programa llamado “COM INIT” en el cual se puede ingresar el baudiaje, el puerto, el tipo de comunicación, la paridad y el Time out que el puerto del PLC va a tener, y se inicializa con un bit de arranque del PLC que está previamente configurado por defecto.

Figura 44. Módulo de inicialización de comunicación.

Com Initialize

Com Port: COM2 Data Bits: 8 Standard: RS485

Baud Rate: 19200 Parity: None ☐ Flow Control

RS232 Time Out: 0.5 sec Stop Bits: 1 ☐ Ignore Break

Modem Settings

Modem Type: None

Dial Type: Auto, Tone, Pulse

Time Out Reply: 1.2

☐ PIN Code:

☐ Clear SIM (all stored messages)

Después se agrega otro módulo el cual es el de MODBUS el cual permite saber si hay una función en progreso y si así lo es enviar un bit, también permite configurar el puerto por el que se va a enviar los datos, la cantidad de reintentos que debe hacer para establecer la comunicación, el time out y el ID de comunicaciones.

Figura 45. Módulo de configuraciones MODBUS.

MODBUS Configuration

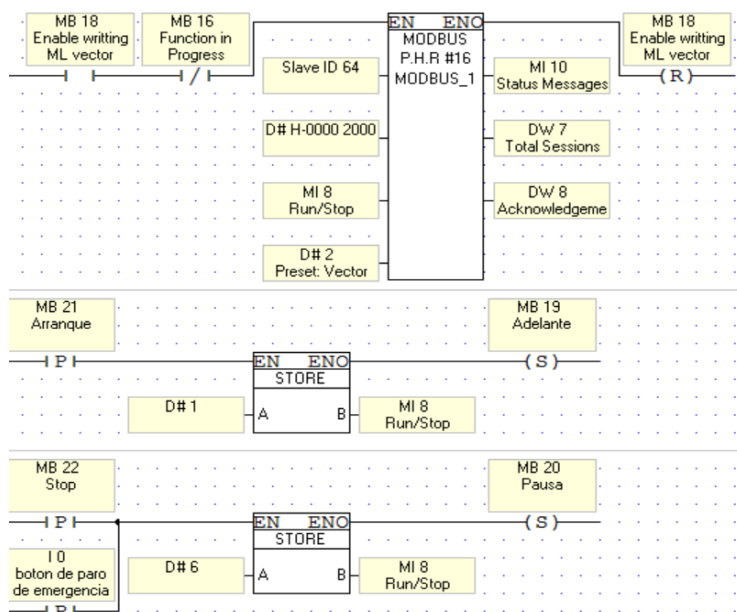
Name: MODBUS_1

Params	Type	Add		Format	Description
IN	D#		2	DEC	Puerto 2
	D#		2	DEC	Network ID 2
	D#		100	DEC	Time out (units of 10 msec)
	D#		3	DEC	Retries
OUT	MB	16			Function in Progress

Ya establecida la comunicación se procedió a configurar otro modulo para enviar los datos al variador, para saber dónde enviar estos datos se tuvo que leer el manual del variador de frecuencia y saber la dirección de las variables que se deseaban cambiar.

Para la configuración del inicio y del arranque del variador se usó la dirección 2000H en donde se usa un valor de 1 para el arranque y un valor de 6 para detenerlo, estos valores son cargados a la variable MI 8 y los datos son enviados con los flancos de subida de los botones de la ventana al variador.

Figura 46. Programación de arranque/parada.



Para la velocidad se utiliza el mismo procedimiento con la diferencia de la dirección que se usa es 1000H y no se envía a un bit sino la frecuencia que el usuario ingresó en la ventana. Después se procedió a configurar los mismos parámetros que se configurarían en el MODBUS en el variador de manera manual para que se pudiera realizar la comunicación de manera correcta.

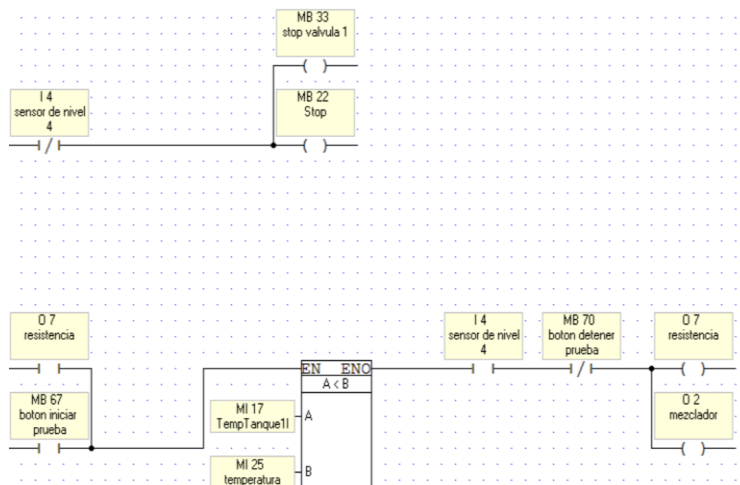
Ventana Prueba

Figura 47. Ventana Prueba.



En esta interfaz se programaron dos procesos a realizar, el primero el control de la temperatura, el cual fue implementado como una estrategia de control on/off acondicionada a un ciclo if, en este se compara una temperatura ingresada por el usuario y una registrada actualmente por los sensores, mientras la temperatura actual sea inferior a la deseada, la termorresistencia se mantendrá activada junto con el mezclador, para el segundo control de temperatura.

Figura 48. Programación Control temperatura del Tanque 1.



El segundo proceso es el control de caudal, este fue programado como una estrategia de control proporcional usando una ecuación lineal encontrada por medio de pruebas experimentales, que al igual que con el control de temperatura se debe ingresar un caudal deseado, dicho valor sería cargado a la ecuación y el resultado enviado al variador de frecuencia para generar el flujo requerido, antes de poner en funcionamiento la bomba 1, se iniciará la bomba del líquido refrigerante y se leerá su caudal por 5 segundos. Para cancelar cualquiera de los dos procesos se designó un botón denominado “Detener prueba”, este reiniciará todos los actuadores involucrados en los dos procesos.

Figura 49. Programación Control de válvulas para arranque.

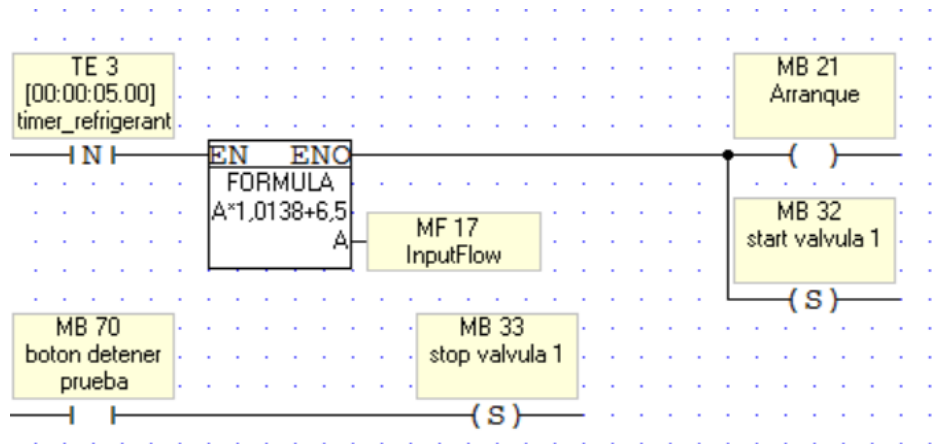
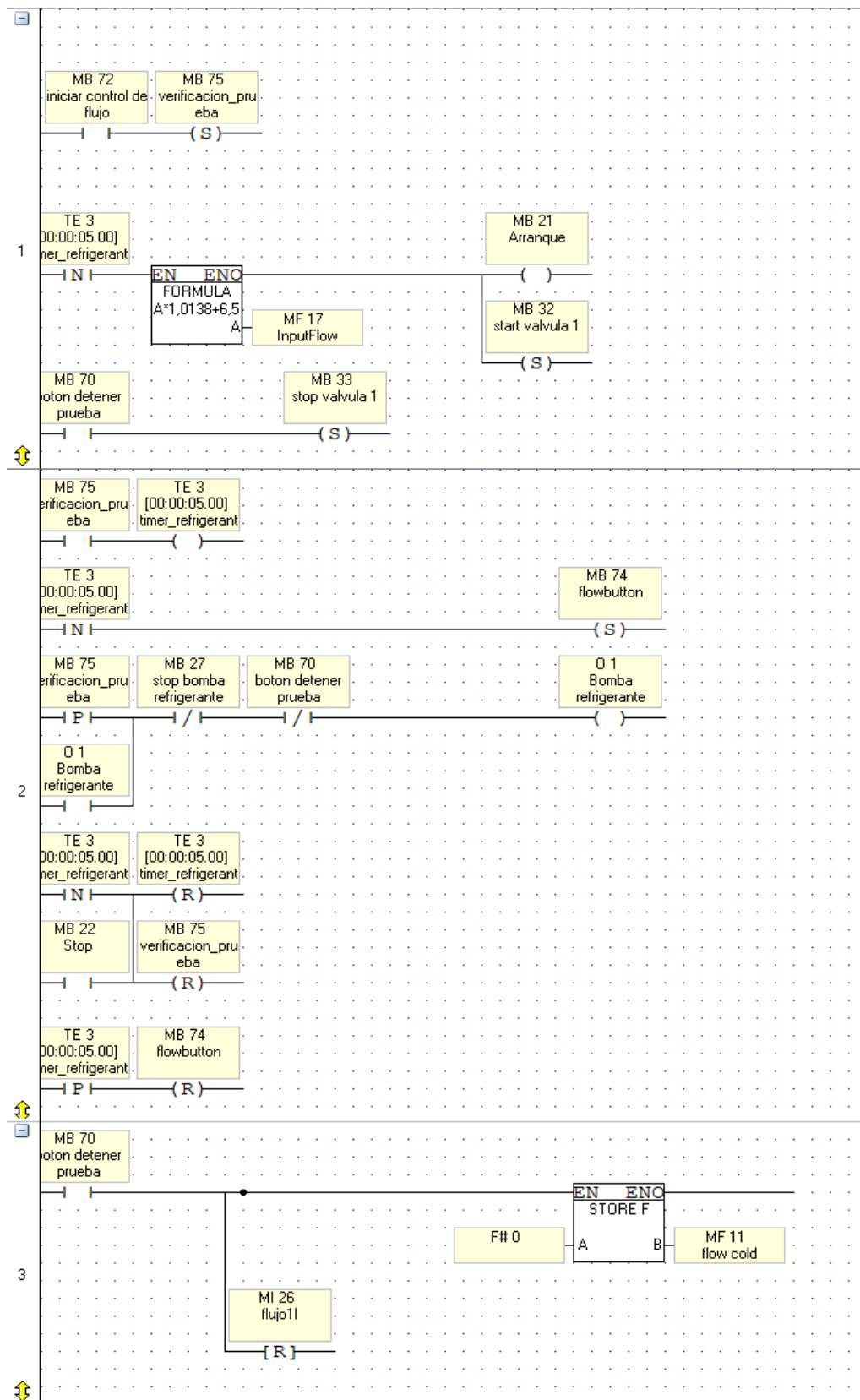


Figura 50. Programación del Control del Caudal.



```

graph TD
    Menu([Pantalla Menu]) --> Sensores{Presión sensores}
    Menu --> Muestra{Presión muestra}
    Menu --> Manual{Presión manual}

    Sensores -- Sí --> PantallaSensores([Pantalla sensores])
    PantallaSensores --> ActualizarCaudal[Actualizar caudalímetro]
    ActualizarCaudal --> ActualizarTemperatura[Actualizar temperaturas y sensores de nivel]
    ActualizarTemperatura --> EncuentraPasterizado{se encuentra pasterizado}
    EncuentraPasterizado -- Sí --> ActualizarCaudal
    EncuentraPasterizado -- No --> NoActualizarCaudal[No actualizar caudalímetro]

    Sensores -- No --> PantallaMenu([Pantalla Menu])

    Muestra -- Sí --> PantallaMuestra([Pantalla muestra])
    PantallaMuestra --> PresionBaja{Presión baja}
    PresionBaja -- Sí --> EnciendeActuador[Enciende actuador]
    EnciendeActuador --> Bomba1Encendida{La bomba 1 está encendida}
    Bomba1Encendida -- Sí --> DetieneActuador[Detiene el actuador]
    Bomba1Encendida -- No --> PantallaMenu
    PresionBaja -- No --> PantallaMenu

    Manual -- Sí --> PantallaManual([Pantalla Manual])
    PantallaManual --> PresionBajaActuador{Presión baja en algún actuador}
    PresionBajaActuador -- Sí --> EnciendeBomba1[Enciende bomba 1]
    EnciendeBomba1 --> Bomba1Encendida
    PresionBajaActuador -- No --> PantallaMenu

    Manual -- No --> PantallaMenu

    PantallaMuestra --> PresionBajaMuestra{Presión baja}
    PresionBajaMuestra -- Sí --> GraficaVariables[Gráfica variables]
    GraficaVariables --> LimpiaTabla[Limpiar tabla de datos]
    LimpiaTabla --> DetieneGrafica[Detiene graficación]
    DetieneGrafica -- Sí --> PantallaMenu
    DetieneGrafica -- No --> PantallaMuestra
    PresionBajaMuestra -- No --> PantallaMenu

    PantallaManual --> PresionBajaManual{Presión baja}
    PresionBajaManual -- Sí --> PantallaMenu
    PresionBajaManual -- No --> PantallaMenu

    PantallaSensores --> CalculaFrecuencia[Calcular frecuencia requerida para lograr flujo deseado]
    CalculaFrecuencia --> EnciendeTimer[Enciende timer 5s]
    EnciendeTimer --> TimerEsCero{timer es = 0}
    TimerEsCero -- Sí --> EnciendeBomba1Frecuencia[Enciende bomba 1 a la frecuencia calculada]
    EnciendeBomba1Frecuencia --> LeeCaudalBomba1[Leer caudal de bomba 1]
    LeeCaudalBomba1 --> LlenaTanque1{llena agua el tanque 1}
    LlenaTanque1 -- Sí --> EnciendeBomba1Frecuencia
    LlenaTanque1 -- No --> DetieneBomba1Y2[Detiene bomba 1 y bomba 2]
    TimerEsCero -- No --> LeeCaudalBomba2[Leer caudal de bomba 2]
    LeeCaudalBomba2 --> LlenaTanque2{llena agua el tanque 2}
    LlenaTanque2 -- Sí --> EnciendeBomba1Frecuencia
    LlenaTanque2 -- No --> DetieneBomba1Y2

    PantallaMuestra --> EnciendeResistencia[Enciende resistencia]
    EnciendeResistencia --> TemperaturaActual{Temperatura actual < Temperatura deseada}
    TemperaturaActual -- Sí --> ApagaResistencia[Apagar resistencia]
    TemperaturaActual -- No --> PantallaMenu
  
```

4.6 Fase 6: Implementación de método de control

Modelamiento caudal:

Para hacer el modelo en estado estable del caudal se usarán las leyes de afinidad las cuales rigen el comportamiento que tiene el caudal con respecto a la velocidad de giro del eje del motor de una bomba centrífuga.

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{N1}{N2}$$

Q = flujo volumétrico

N = velocidad del eje

Estas ecuaciones sugieren que el caudal tiene un comportamiento lineal con respecto a la velocidad del eje del motor, por lo cual se ejecutaron pruebas para corroborarlas. A causa de que el motor que se emplea es un motor de altas revoluciones, no se emplean frecuencias por debajo de 15 Hz por precaución a las corrientes de magnetización, las cuales podrían afectar negativamente el estado de la bomba.

Prueba de lectura de caudalímetros:

A causa de que las lecturas del caudalímetro podrían ser afectadas por su posición al momento de ser instalados se realizó una prueba por medio de un arreglo de mangueras y racores donde se hacía recircular el agua a través de un recipiente mientras se variaba la posición del caudalímetro.

Figura 52. Foto de la prueba de lectura de flujómetro en horizontal.

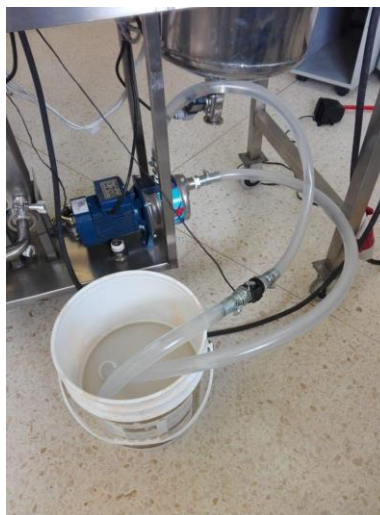
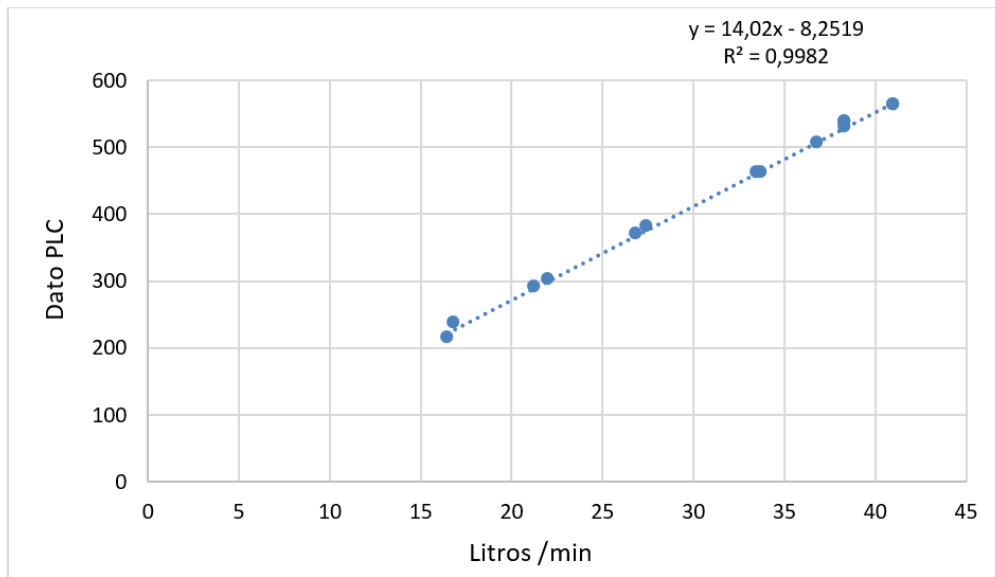


Figura 53. Foto de la prueba de lectura de flujómetro en vertical.

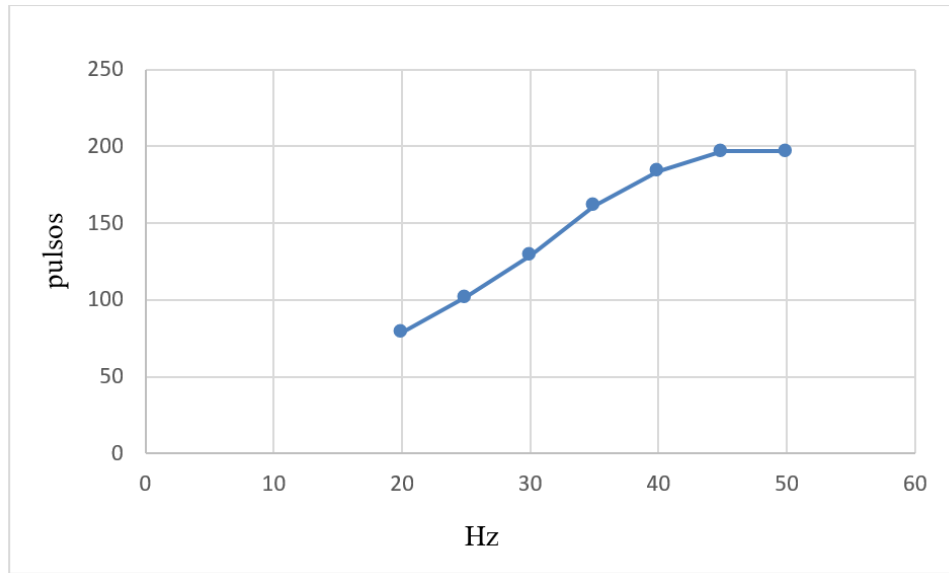


Figura 54. Gráfica de flujo vs Entrada PLC.



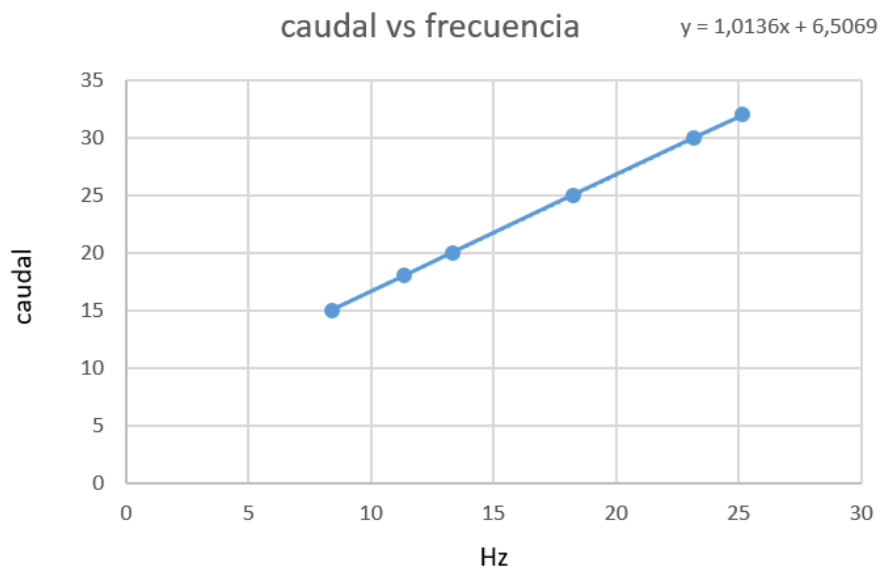
De acuerdo con la gráfica anterior la posición del caudalímetro no es afectada por su orientación por lo que puede ser posicionado en cualquier parte de la tubería. Después de verificar el correcto funcionamiento del sensor se procedió a mirar el comportamiento de la planta en estado estable y poder seleccionar la región lineal.

Figura 55. Gráfica de frecuencia de alimentación vs pulsos de lectura.



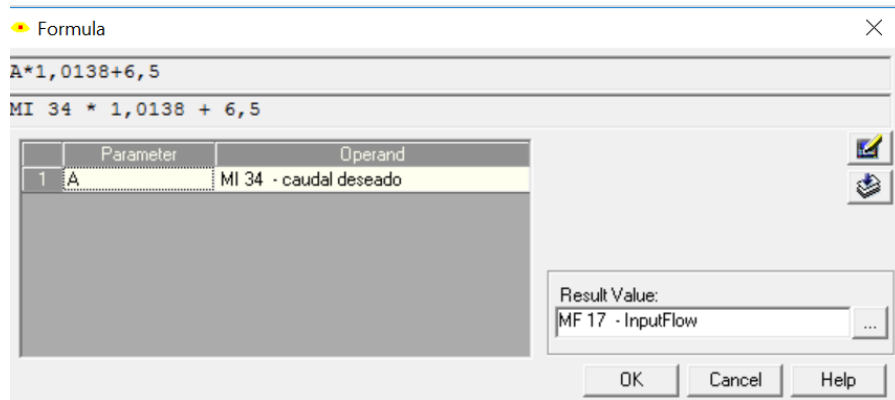
Como se puede observar en la gráfica anterior la región considerada lineal se encuentra entre los 15 Hz y los 32 Hz por lo cual esta será nuestra región seleccionada para realizar el control del caudal.

Figura 56. Gráfica de frecuencia de alimentación vs caudal generado.



Una vez tomadas las muestras en la región lineal de la bomba, se procedió a hallar una región de tendencia entre el caudal generado y la frecuencia ingresada, así se halló la ecuación que sería usada en la programación a través del módulo “fórmula”.

Figura 57. Interfaz para ingresar ecuaciones en Visilogic.



Modelamiento de la temperatura:

Para el modelamiento de la temperatura se usó la ecuación de equilibrio de energías en la cual se expresa el cambio de temperatura del líquido caliente como la ganancia de calor en el líquido refrigerante.

$$\dot{Q} = \dot{m}_c * C_{pc} * \Delta T_c = \dot{m}_f * C_{pf} * \Delta T_f$$

\dot{Q} = flujo de calor.

\dot{m}_c =flujo másico de líquido caliente.

\dot{m}_f =flujo másico de líquido frío.

C_{pc} = calor específico del líquido caliente.

C_{pf} = calor específico del líquido frío.

ΔT_c =Cambio de temperatura del líquido caliente.

ΔT_f =Cambio de temperatura del líquido caliente.

Se procedió a calcular el flujo de calor que se deberá generar para poder ejercer el cambio de temperatura requerido para el proceso de pasteurización, este a su vez puede ser traducido como la potencia requerida por el sistema de enfriamiento.

Con un caudal de 33 litros/min

$$\dot{Q} = 33000 \text{ g/min} * 1\text{cal/g } ^\circ\text{C} * (75^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = 2277000 \text{ cal/min} = 158.7 \text{ KW}$$

Con un caudal de 7 litros/min

$$\dot{Q} = 7000 \text{ g/min} * 1\text{cal/g } ^\circ\text{C} * (75^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = 357000 \text{ cal/min} = 24.8 \text{ KW}$$

Despejando la variable Tcs se puede también saber a qué temperatura va a salir el líquido caliente con las condiciones que se están usando.

$$T_{cs} = T_{ce} - \frac{\dot{m}_f * C_{pf} * \Delta T_f}{\dot{m}_c * C_{pc}}$$

Para el análisis del flujo de calor que transmite el intercambiador de calor de placas se usará una ecuación característica para el análisis de estos componentes en la industria.

$$\dot{Q} = A_t * U * \Delta T_{ml}$$

A_t = Área total de transmisión de calor del intercambiador

U = Coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador.

ΔT_{ml} = Diferencia de temperatura media logarítmica.

\dot{Q} = flujo de calor

Para calcular la diferencia de temperatura media logarítmica se maneja diferentes tipos de ecuaciones teniendo en cuenta la configuración interna del intercambiador esto quiere decir que si es a contraflujo o si es en flujo paralelo cambiará el orden de sus operandos.

$$\Delta T_{ml} \text{ (para contracorriente)} = \frac{(T_{ce} - T_{fs}) * (T_{cs} - T_{fe})}{\ln \left(\frac{T_{ce} - T_{fs}}{T_{cs} - T_{fe}} \right)}$$

T_{ce} = Temperatura del líquido caliente en la entrada del intercambiador

T_{cs} = Temperatura del líquido caliente en la salida del intercambiador

T_{fe} = Temperatura del líquido frío en la entrada del intercambiador

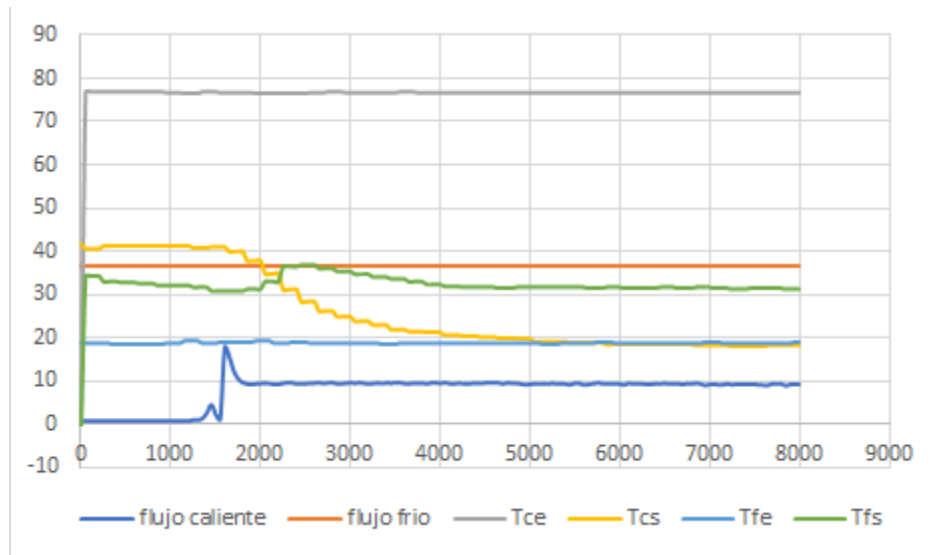
T_{fs} = Temperatura del líquido frío en la salida del intercambiador

De manera experimental se realizó una prueba usando agua como líquido a pasteurizar y como enfriador, para posteriormente con ayuda de la interfaz, tomar los datos necesario para calcular el diferencial de temperatura media logarítmica y el flujo de calor existente en la planta, buscando no solo saber el coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador, sino que además

comparar si se está cumpliendo la relación de calor cedido por el líquido caliente y el ganado por el frío.

En cumplimiento de lo anterior, se tomaron los datos en estado estable debido a que es donde se puede calcular con mayor certeza el flujo de calor:

Figura 58. Gráfica de prueba realizada para determinar las características del intercambiador.



$$\text{Caudal caliente} = 9.5 \text{ l/min}$$

$$\text{Caudal frío} = 36.4 \text{ l/min}$$

$$T_{ce} = 76.5$$

$$T_{cs} = 18.8$$

$$T_{fe} = 18.6$$

$$T_{fs} = 33.1$$

Con los datos tomados, se procede primero a evaluar que el balance de energías se esté cumpliendo:

$$\dot{Q}_f = 9500 \text{ g/min} * 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} * (76.5^\circ\text{C} - 18.8^\circ\text{C})$$

$$Q = 548150 \text{ cal/min} = 38.2 \text{ KW}$$

$$\dot{Q}_c = 36400 \text{ g/min} * 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} * (33.1^\circ\text{C} - 18.6^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = 527800 \text{ cal/min} = 36.8 \text{ KW}$$

$$\Delta \dot{Q} = 38.2 \text{ KW} - 36.8 \text{ KW} = 1.4 \text{ KW}$$

Se puede observar que el balance de energías no se está cumpliendo por una diferencia de 1.4 KW y esto puede deber a las siguientes razones:

- Pérdidas térmicas en las tuberías
- Pérdidas térmicas en el intercambiador de placas

Se procede a calcular la diferencia de temperatura media logarítmica con los datos experimentales:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(76.5 - 33.1) * (18.8 - 18.6)}{\ln \left(\frac{76.5 - 33.1}{18.8 - 18.6} \right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 1.6134 \text{ C}^\circ$$

El área total de transmisión de calor del intercambiador fue dada por la empresa del intercambiador:

$$A_t = 19.37 \text{ m}^2$$

Ya con los datos calculados anteriormente podemos calcular el coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador:

$$\dot{Q} = 9500 \text{ g/min} * 1 \text{ cal/g C}^\circ * (76.5 \text{ C}^\circ - 18.8 \text{ C}^\circ)$$

$$\dot{Q} = 548150 \text{ cal/min} = 38.2 \text{ KW}$$

$$38.2 \text{ KW} = 19.37 \text{ m}^2 * U * 1.6134 \text{ C}^\circ$$

$$U = \frac{38.2 \text{ KW}}{19.37 \text{ m}^2 * 1.6134 \text{ C}^\circ} = 1.222 \text{ KW/m}^2 * \text{C}^\circ$$

Una vez calculado este coeficiente se consultó una tabla de valores aproximados del coeficiente de calor para intercambiadores de calor:

Tabla 17. Valores aproximados del coeficiente global de transmisión de calor U.

INTERCAMBIADORES		
FLUIDO CALIENTE	FLUIDO FRÍO	U ₁ : TOTAL *
Agua	Agua	1220-2440 (250-500) ⁴
Soluciones acuosas	Soluciones acuosas	1220-2440 (250-500) ⁴
Sustancias orgánicas ligeras	Sustancias orgánicas ligeras	195-366 (40-73)
Sustancias orgánicas medias	Sustancias orgánicas medias	97-300 (20-60)
Sustancias orgánicas pesadas	Sustancias orgánicas pesadas	48-195 (10-40)
Sustancias orgánicas pesadas	Sustancias orgánicas ligeras	146-300 (30-60)
Sustancias orgánicas ligeras	Sustancias orgánicas pesadas	48-195 (10-40)

Fuente: Ingeniero José Fernando Salazar,(2001).Diseño de equipos de transferencia de calor(tesis de maestría).Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Como podemos observar en la anterior tabla el coeficiente que más se ajusta a nuestro caso es el primero, debido a que usa agua tanto como líquido caliente como líquido frío, y nuestro valor calculado se encuentra dentro del rango de este mismo, por lo que podemos afirmar que el cálculo es acertado.

5 CONCLUSIONES:

- El dimensionamiento y diseño del cuadro eléctrico para la gestión de la energía en la planta de pasteurización, fue una etapa prioritaria para el desarrollo de la mayoría de fases o etapas posteriores que se debieron dar en la implementación de la planta, esto debido a que primero hay que tener en cuenta la potencia de los actuadores y la instrumentación que está instalada para la adquisición de las variables de temperatura y caudal, para luego dimensionar los disyuntores, relés de protección termo magnéticos; para elegir los relés de conmutación, los contactores para el control de las bombas y el relé de estado sólido para el control de la energía de la resistencia.
- Debido a las características de los elementos que intervienen en el sistema de control como son el variador de frecuencia y el PLC encargados de gobernar el funcionamiento de la bomba 1, fue necesario realizar una comunicación maestro esclavo entre ellos por medio del protocolo RS485, para ellos se usó el programa visilogic, que posee un módulo MODBUS en el cual se configura el baudiaje, el ID del variador de frecuencia, el registro que se quiere modificar, el dato de envío y el tamaño del registro. Para poder realizar el envío de datos; fue necesario realizar una programación manual en el variador de frecuencia usando la lista de los registros encontrados en su manual. En lo que respecta a la adquisición de datos se usaron 2 caudalímetros para la lectura del caudal del sistema, los cuales se debieron acondicionar usando un circuito integrado y un amplificador operacional que permitió la conversión de pulsos a un voltaje que podía ser adquirido por el PLC, y para la lectura de la temperatura se seleccionaron conversores que permitieran convertir la señal de ohmios a una corriente que pudiera ser leída por el PLC. Una vez adquiridas las señales, se procedió a hallar una ecuación lineal que permitiera convertir los datos adquiridos por PLC a las variables de caudal y temperatura para poder ser usados en el proceso.
- Gracias al análisis experimental, se pudo determinar la región lineal del caudal generado por la bomba, con estos datos se obtuvo la ecuación lineal que representaba dicha región y posteriormente se procedió a ingresar dichas funciones en el PLC y realizar un control proporcional, en el cual, dado un caudal deseado, se calcula la frecuencia requerida para generar dicho caudal y se envía al variador de frecuencia, el cual es activado por una señal enviado por el usuario desde la interfaz. Para el control de temperatura se planteó un control on/off que fue condicionado por un ciclo if donde se mantendrá encendida la resistencia siempre y cuando la temperatura actual sea mayor a la deseada por el usuario.
- Para el diseño de la interfaz se plantearon seis ventanas de navegación e interacción con el usuario, programadas con ayuda del software Visilogic, el cual presentaba una pestaña para la programación de la pantalla táctil y otra para la programación LADDER, cuatro de estas ventanas fueron desarrolladas con el fin de operar la máquina, mirar sus sensores y adquirir las variables, las demás se programaron para navegar entre opciones. Para poder programar

la ventana de captura de datos se usó una interfaz previamente existente en el programa, la cual nos proporcionó una gráfica en la cual poder representar las variables adquiridas por el PLC, fue necesario indicar en qué momento mostrarlas y darle una opción al usuario para seleccionar cuáles variables deseaba observar. La ventana donde se realizó el acceso a los controladores del proceso se denominó como “prueba”, contaba con dos casillas para ingresar las variables de caudal y temperatura que se deseaban obtener, y dos para saber el valor de dichas variables, así como dos botones que permiten poner en funcionamiento un control u otro.

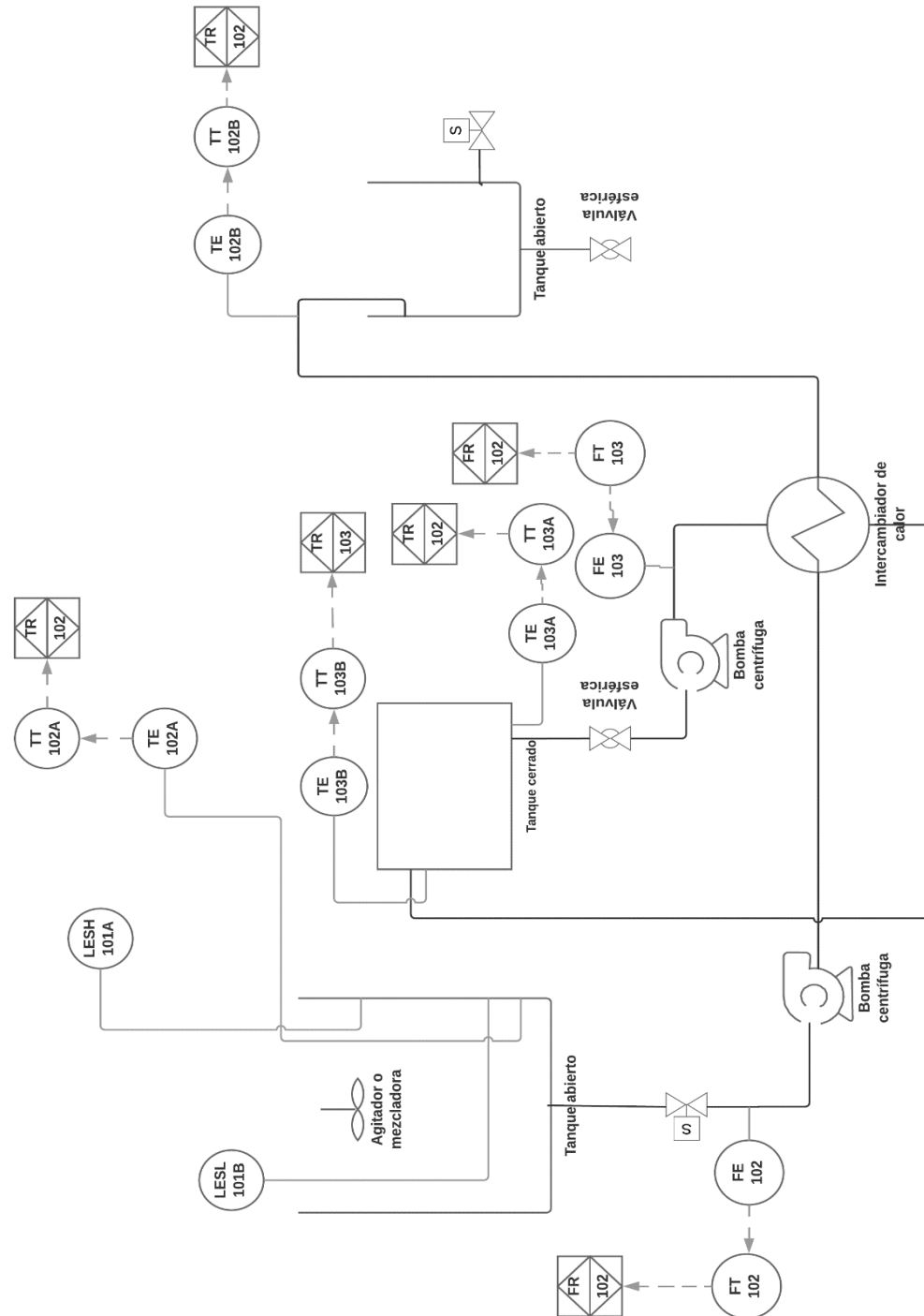
6 RECOMENDACIONES

1. Como autores se sugiere tener en cuenta 2 soluciones posibles para mejorar la refrigeración del sistema:
 - Bajar la velocidad de la bomba del líquido a pasteurizar para requerir menos potencia de enfriamiento y adicionar un sistema de enfriamiento.
 - Agregar un sistema de refrigeración que use agua del edificio y retirar el sistema que se tiene actualmente.
2. Si se desea realizar un control de temperatura más preciso se deberá adicionar un módulo de expansión de entradas analógicas al PLC y un sensor analógico de nivel para los tanques.
3. Es importante realizar un balance de energías al inicio del proceso para entender las principales características que tiene el sistema.
4. Adicionar un sistema de reseteo que permita recircular el líquido del tanque uno al tanque dos.

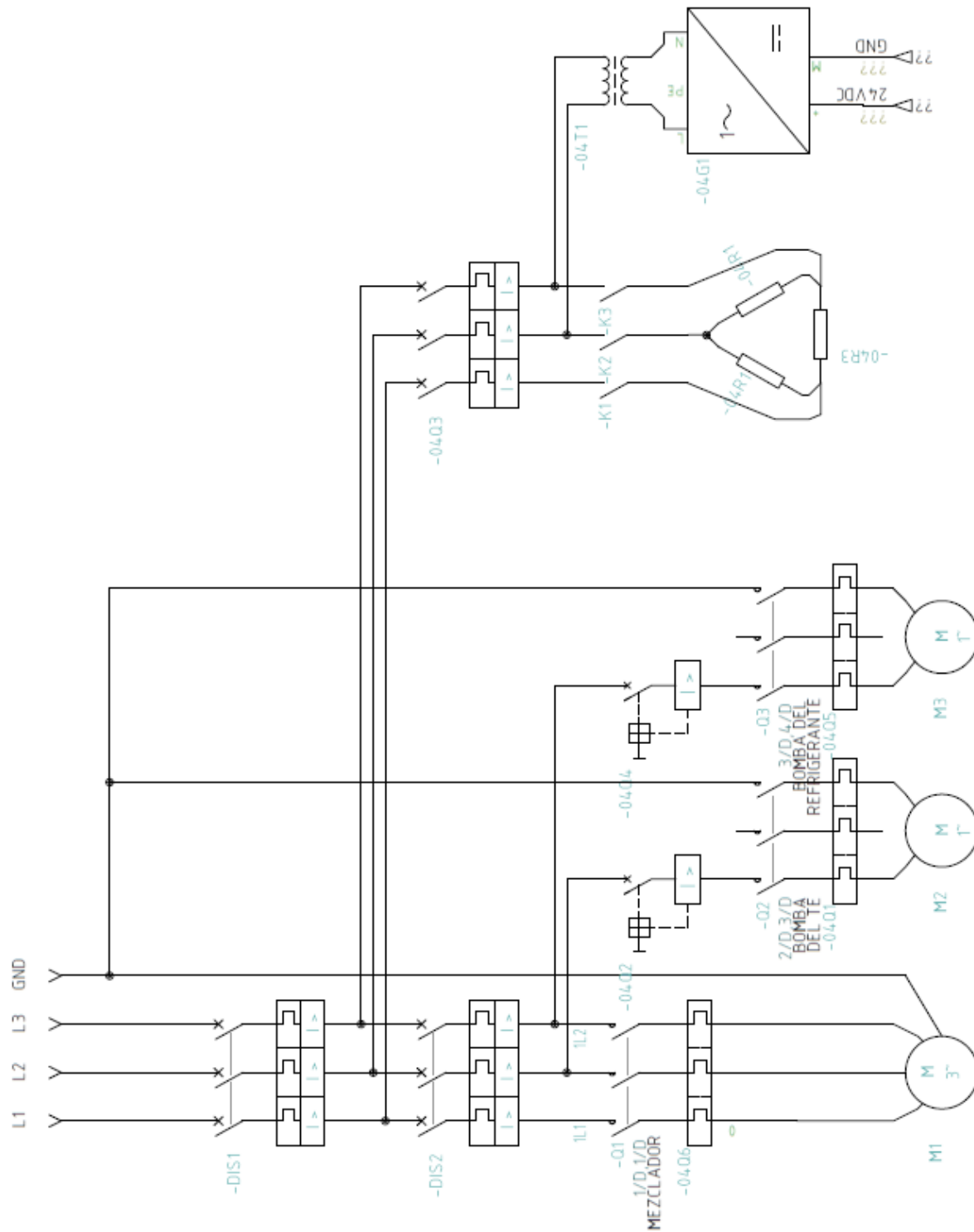
7 ANEXOS

Anexo A. Plano P&ID de la planta pasteurizadora.

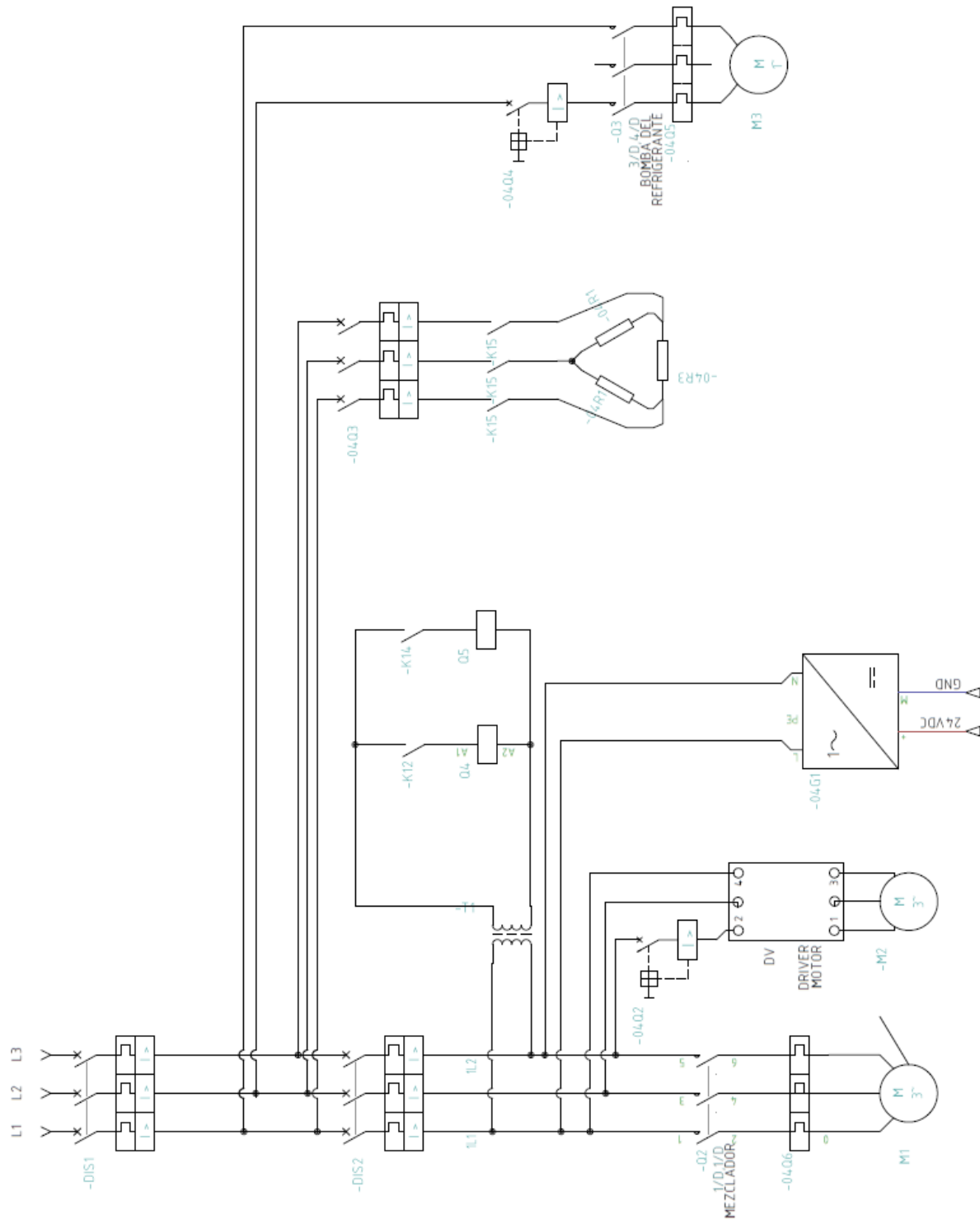
Luis Eduardo Ortiz | November 15, 2018



Anexo B. Plano Eléctrico del Antiguo Circuito de Potencia de la Planta Pasteurizadora.



Anexo C. Plano Eléctrico del Nuevo Circuito de Potencia de la Planta Pasteurizadora.



Anexo D. Tabla de datos

Tabla 18. Tabla de datos.

tiempo (cs)	flujo caliente (L/min)	flujo frio	Temp In Warm	Temp Out Warm	TempInCold	Temp Out Cold	Frecuencia
0	0,589	36,4	0	41,807	18,631	0	30
50	0,589	36,4	76,779	40,724	18,631	34,443	30
100	0,589	36,4	76,779	40,724	18,631	34,443	30
150	0,589	36,4	76,779	40,724	18,631	34,443	30
200	0,589	36,4	76,779	40,724	18,631	34,443	30
250	0,589	36,4	76,779	41,374	18,631	33,143	30
300	0,589	36,4	76,779	41,374	18,631	33,143	30
350	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	33,143	30
400	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	33,143	30
450	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	32,927	30
500	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	32,927	30
550	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	32,927	30
600	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	32,927	30
650	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	32,71	30
700	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	32,71	30
750	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	32,71	30
800	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	32,71	30
850	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	32,277	30
900	0,589	36,4	76,779	41,374	18,414	32,277	30
950	0,589	36,4	76,594	41,374	18,631	32,277	30
1000	0,589	36,4	76,594	41,374	18,631	32,277	30
1050	0,589	36,4	76,594	41,374	18,631	32,277	30
1100	0,589	36,4	76,594	41,374	18,631	32,277	30
1150	0,589	36,4	76,408	41,374	19,064	32,277	30
1200	0,589	36,4	76,408	41,374	19,064	32,277	30
1250	0,874	36,4	76,408	40,941	19,064	31,844	30
1300	0,803	36,4	76,408	40,941	19,064	31,844	30
1350	1,159	36,4	76,779	40,941	18,631	31,844	30
1400	2,443	36,4	76,779	40,941	18,631	31,844	30
1450	4,369	36,4	76,779	41,157	18,631	30,977	15
1500	2,086	36,4	76,779	41,157	18,631	30,977	15
1550	0,945	36,4	76,594	41,157	18,848	30,977	15
1600	17,636	36,4	76,594	41,157	18,848	30,977	15
1650	15,496	36,4	76,594	40,074	18,848	30,977	15
1700	12,215	36,4	76,594	40,074	18,848	30,977	15

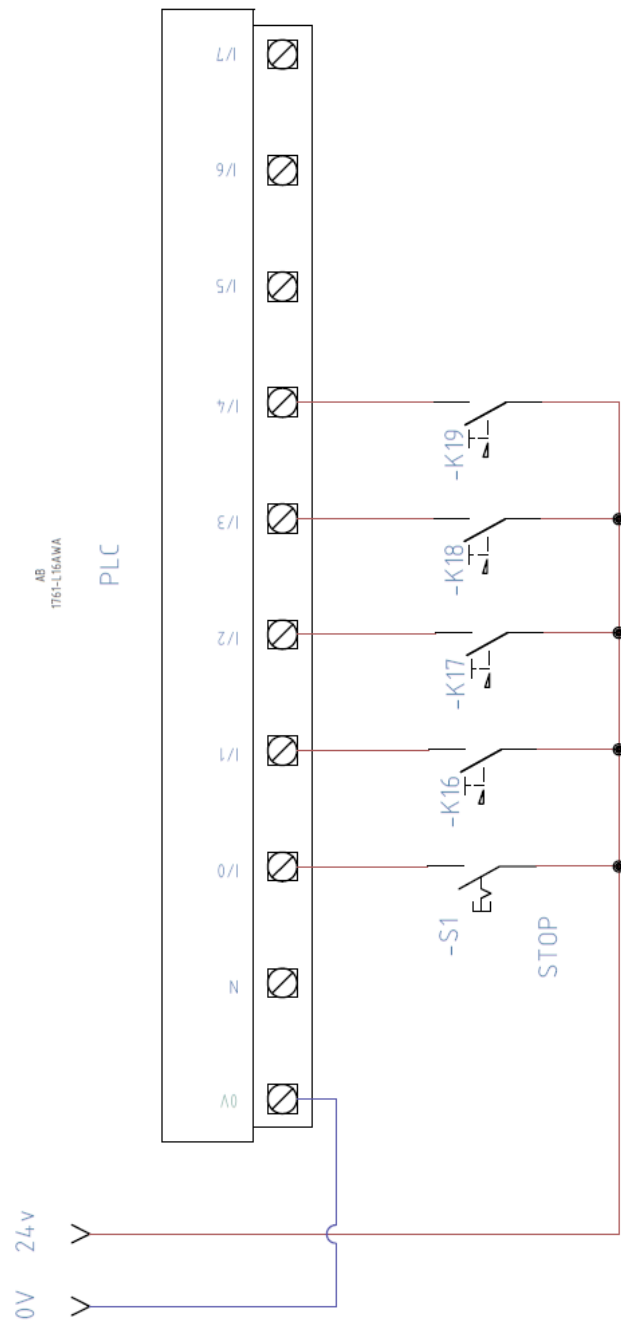
1750	10,360	36,4	76,594	40,074	18,848	30,977	15
1800	9,504	36,4	76,594	40,074	18,848	30,977	15
1850	9,148	36,4	76,594	37,908	18,848	31,41	15
1900	9,076	36,4	76,594	37,908	18,848	31,41	15
1950	9,219	36,4	76,408	37,908	19,064	31,41	15
2000	9,290	36,4	76,408	37,908	19,064	31,41	15
2050	9,362	36,4	76,408	34,876	19,064	33,143	15
2100	9,290	36,4	76,408	34,876	19,064	33,143	15
2150	9,076	36,4	76,408	34,876	18,631	33,143	15
2200	9,076	36,4	76,408	34,876	18,631	33,143	15
2250	9,362	36,4	76,408	31,194	18,631	36,609	15
2300	9,433	36,4	76,408	31,194	18,631	36,609	15
2350	9,433	36,4	76,408	31,194	18,848	36,609	15
2400	9,219	36,4	76,408	31,194	18,848	36,609	15
2450	9,219	36,4	76,408	28,378	18,848	37,042	15
2500	9,219	36,4	76,408	28,378	18,848	37,042	15
2550	9,362	36,4	76,594	28,378	18,631	37,042	15
2600	9,362	36,4	76,594	28,378	18,631	37,042	15
2650	9,504	36,4	76,594	26,212	18,631	36,176	15
2700	9,290	36,4	76,594	26,212	18,631	36,176	15
2750	9,433	36,4	76,779	26,212	18,631	36,176	15
2800	9,504	36,4	76,779	26,212	18,631	36,176	15
2850	9,219	36,4	76,779	24,912	18,631	35,526	15
2900	9,219	36,4	76,779	24,912	18,631	35,526	15
2950	9,362	36,4	76,594	24,912	18,631	35,526	15
3000	9,433	36,4	76,594	24,912	18,631	35,526	15
3050	9,362	36,4	76,594	23,829	18,631	34,876	15
3100	9,433	36,4	76,594	23,829	18,631	34,876	15
3150	9,362	36,4	76,594	23,829	18,631	34,876	15
3200	9,148	36,4	76,594	23,829	18,631	34,876	15
3250	9,290	36,4	76,594	22,963	18,631	34,226	15
3300	9,433	36,4	76,594	22,963	18,631	34,226	15
3350	9,290	36,4	76,594	22,963	18,414	34,226	15
3400	9,433	36,4	76,594	22,963	18,414	34,226	15
3450	9,362	36,4	76,594	21,880	18,414	33,793	15
3500	9,433	36,4	76,594	21,880	18,414	33,793	15
3550	9,504	36,4	76,779	21,880	18,631	33,793	15
3600	9,290	36,4	76,779	21,880	18,631	33,793	15
3650	9,219	36,4	76,779	21,447	18,631	33,143	15
3700	9,362	36,4	76,779	21,447	18,631	33,143	15
3750	9,362	36,4	76,594	21,447	18,631	33,143	15

3800	9,362	36,4	76,594	21,447	18,631	33,143	15
3850	9,219	36,4	76,594	21,230	18,631	32,493	15
3900	9,433	36,4	76,594	21,230	18,631	32,493	15
3950	9,504	36,4	76,594	21,230	18,631	32,493	15
4000	9,290	36,4	76,594	21,230	18,631	32,493	15
4050	9,504	36,4	76,594	20,580	18,631	32,06	15
4100	9,290	36,4	76,594	20,580	18,631	32,06	15
4150	9,219	36,4	76,594	20,580	18,631	32,06	15
4200	9,362	36,4	76,594	20,580	18,631	32,06	15
4250	9,290	36,4	76,594	20,364	18,631	31,844	15
4300	9,219	36,4	76,594	20,364	18,631	31,844	15
4350	9,290	36,4	76,594	20,364	18,631	31,844	15
4400	9,290	36,4	76,594	20,364	18,631	31,844	15
4450	9,290	36,4	76,594	20,147	18,631	31,844	15
4500	9,433	36,4	76,594	20,147	18,631	31,844	15
4550	9,433	36,4	76,594	20,147	18,631	31,844	15
4600	9,433	36,4	76,594	20,147	18,631	31,844	15
4650	9,433	36,4	76,594	19,931	18,631	31,627	15
4700	9,219	36,4	76,594	19,931	18,631	31,627	15
4750	9,433	36,4	76,594	19,931	18,631	31,627	15
4800	9,362	36,4	76,594	19,931	18,631	31,627	15
4850	9,362	36,4	76,594	19,714	18,631	31,844	15
4900	9,148	36,4	76,594	19,714	18,631	31,844	15
4950	9,005	36,4	76,594	19,714	18,631	31,844	15
5000	9,076	36,4	76,594	19,714	18,631	31,844	15
5050	9,290	36,4	76,594	19,064	18,631	31,844	15
5100	9,148	36,4	76,594	19,064	18,631	31,844	15
5150	9,290	36,4	76,594	19,064	18,414	31,844	15
5200	9,148	36,4	76,594	19,064	18,414	31,844	15
5250	9,362	36,4	76,594	19,064	18,414	31,844	15
5300	9,148	36,4	76,594	19,064	18,414	31,844	15
5350	9,290	36,4	76,594	19,064	18,631	31,844	15
5400	9,148	36,4	76,594	19,064	18,631	31,844	15
5450	9,005	36,4	76,594	18,848	18,631	31,844	15
5500	9,362	36,4	76,594	18,848	18,631	31,844	15
5550	9,362	36,4	76,594	18,848	18,631	31,844	15
5600	8,934	36,4	76,594	18,848	18,631	31,844	15
5650	9,076	36,4	76,594	18,848	18,631	31,627	15
5700	9,219	36,4	76,594	18,848	18,631	31,627	15
5750	9,433	36,4	76,594	18,848	18,848	31,627	15
5800	9,290	36,4	76,594	18,848	18,848	31,627	15

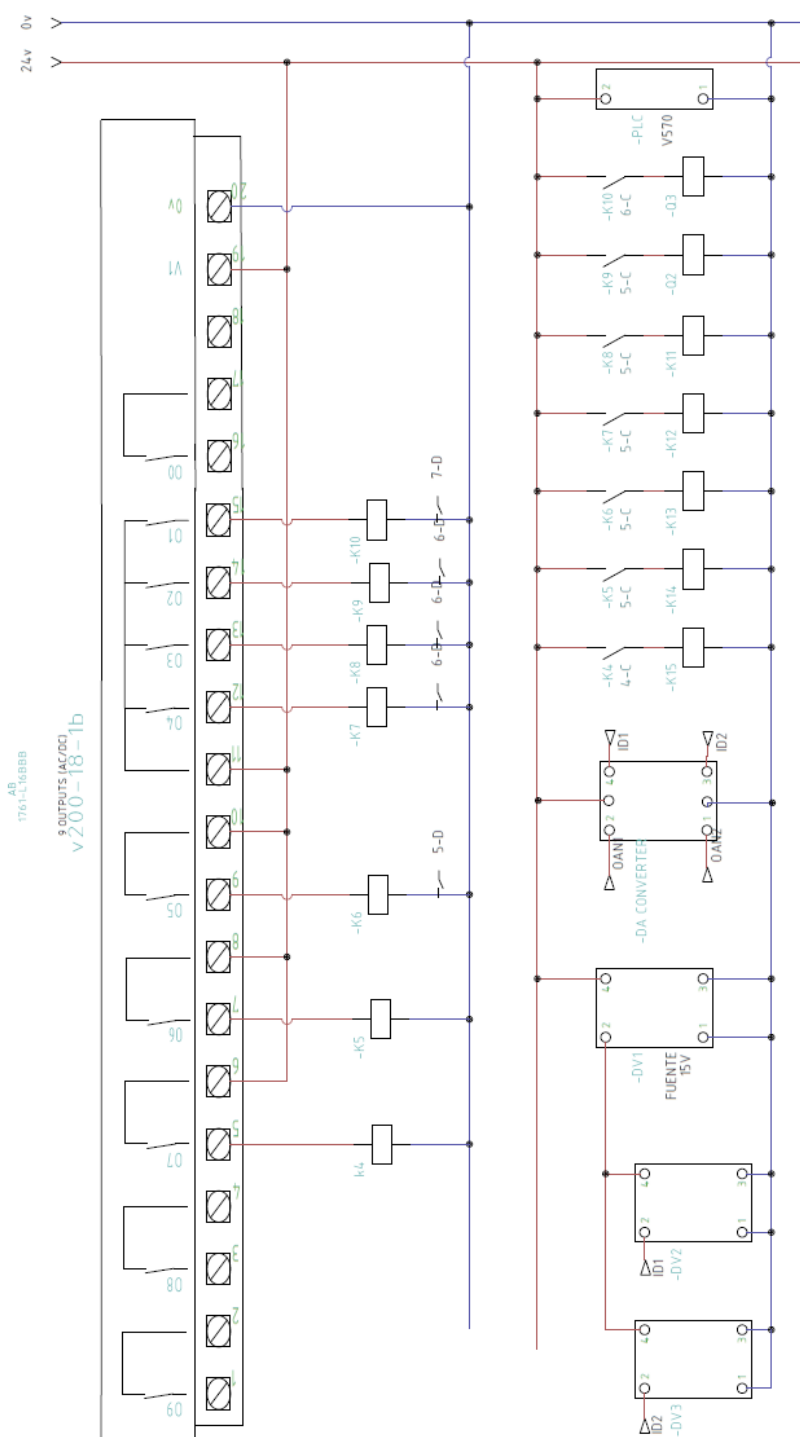
5850	9,219	36,4	76,594	18,414	18,848	31,844	15
5900	9,219	36,4	76,594	18,414	18,848	31,844	15
5950	9,148	36,4	76,594	18,414	18,631	31,844	15
6000	9,219	36,4	76,594	18,414	18,631	31,844	15
6050	8,934	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6100	9,362	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6150	9,148	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6200	9,148	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6250	9,219	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6300	9,076	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6350	9,076	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6400	9,290	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6450	9,148	36,4	76,594	18,414	18,631	31,844	15
6500	9,362	36,4	76,594	18,414	18,631	31,844	15
6550	9,148	36,4	76,594	18,414	18,631	31,844	15
6600	9,219	36,4	76,594	18,414	18,631	31,844	15
6650	9,290	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6700	9,076	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6750	9,290	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6800	9,219	36,4	76,594	18,414	18,631	31,627	15
6850	9,362	36,4	76,594	18,198	18,631	31,844	15
6900	9,219	36,4	76,594	18,198	18,631	31,844	15
6950	8,862	36,4	76,594	18,198	18,848	31,844	15
7000	9,076	36,4	76,594	18,198	18,848	31,844	15
7050	9,148	36,4	76,594	18,198	18,848	31,627	15
7100	9,005	36,4	76,594	18,198	18,848	31,627	15
7150	<u>9,005</u>	36,4	76,594	18,198	18,631	31,627	15
7200	<u>9,219</u>	36,4	76,594	18,198	18,631	31,627	15
7250	<u>9,005</u>	36,4	76,594	17,981	18,631	31,41	15
7300	<u>9,076</u>	36,4	76,594	17,981	18,631	31,41	15
7350	<u>9,076</u>	36,4	76,594	17,981	18,631	31,41	15
7400	<u>9,076</u>	36,4	76,594	17,981	18,631	31,41	15
7450	<u>9,076</u>	36,4	76,594	17,981	18,631	31,627	15
7500	<u>9,076</u>	36,4	76,594	17,981	18,631	31,627	15
7550	<u>9,005</u>	36,4	76,594	17,981	18,631	31,627	15
7600	<u>8,934</u>	36,4	76,594	17,981	18,631	31,627	15
7650	<u>8,862</u>	36,4	76,594	18,198	18,631	31,627	15
7700	<u>9,219</u>	36,4	76,594	18,198	18,631	31,627	15
7750	<u>9,148</u>	36,4	76,594	18,198	18,631	31,627	15
7800	<u>9,219</u>	36,4	76,594	18,198	18,631	31,627	15
7850	<u>8,791</u>	36,4	76,594	18,198	18,631	31,41	15

7900	<u>9,076</u>	36,4	76,594	18,198	18,631	31,41	15
7950	<u>9,076</u>	36,4	76,594	18,198	18,848	31,41	15
8000	<u>9,076</u>	36,4	76,594	18,198	18,848	31,41	15

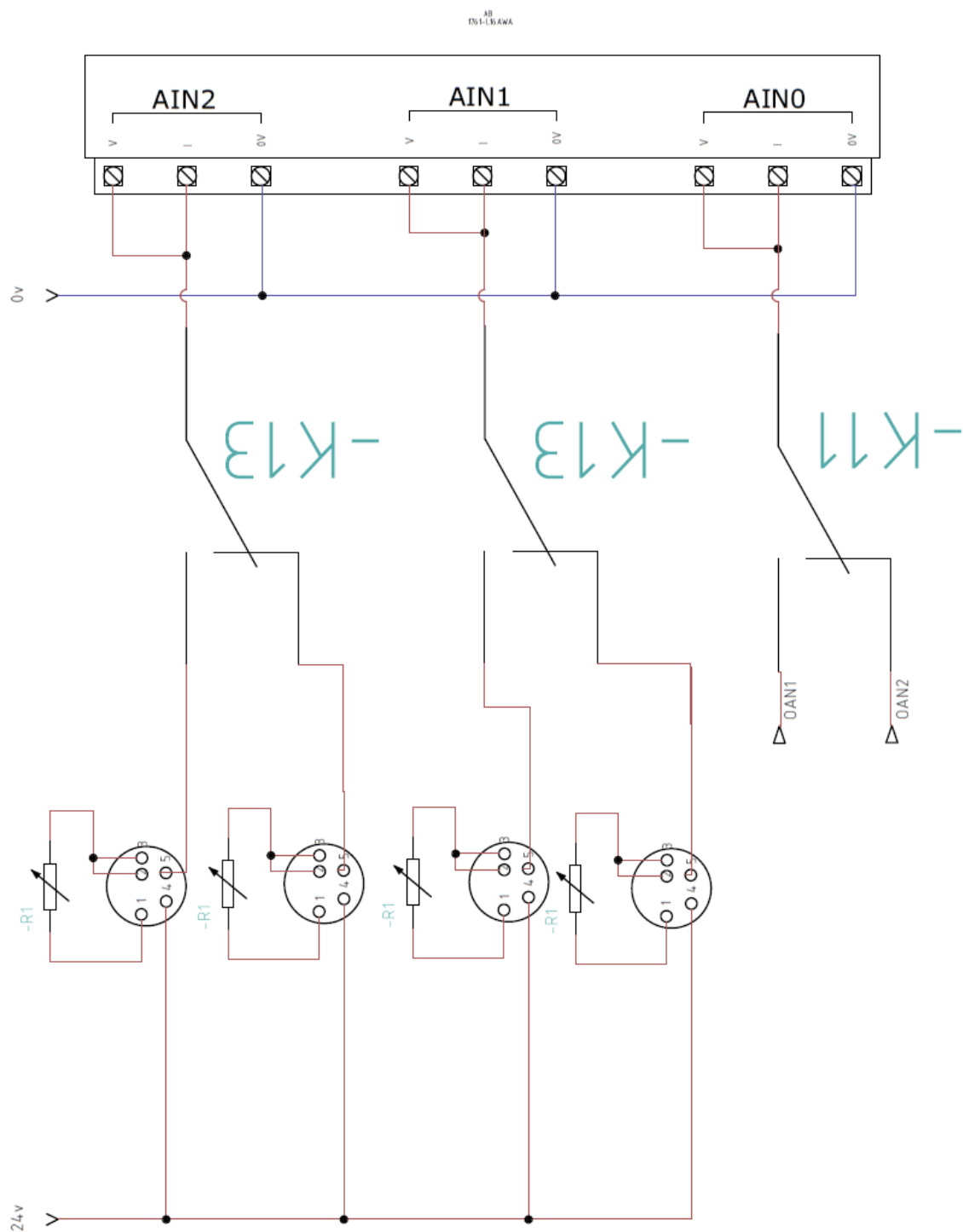
Anexo E. Circuito de entradas digitales del módulo del PLC.



Anexo F. Circuito de salidas del módulo del PLC.



Anexo G. Circuito de entradas analógicas del módulo.



Anexo H. Manual de la Planta de Pasteurización.



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA


Planta de pasteurización con fines formativos. Manual de Usuario

Versión: 1.0

Fecha: 24/10/2018

[1.0]

Queda prohibido cualquier tipo de explotación y, en particular, la reproducción, distribución, comunicación pública y/o transformación, total o parcial, por cualquier medio, de este documento sin el previo consentimiento expreso y por escrito de la Universidad San Buenaventura

 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	Planta de pasteurización con fines formativos Manual de Usuario	USB
---	--	------------

HOJA DE CONTROL


Organismo	Universidad San buenaventura		
Proyecto	Planta de pasteurización con fines formativos		
Entregable	Manual de Usuario		
Autor	Frei Alexander Cortes Garzón		
Versión/Edición	1.0	Fecha Versión	24/10/2018
Aprobado por	Uriel Muñoz	Fecha Aprobación	30/10/2018
		Nº Total de Páginas	16

REGISTRO DE CAMBIOS

Versión	Causa del Cambio	Responsable del Cambio	Fecha del Cambio
1.0	Versión inicial	Uriel Muñoz	30/10/2018


CONTROL DE DISTRIBUCIÓN

Nombre del distribuidor
Universidad San Buenaventura

 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	Planta de pasteurización con fines formativos Manual de Usuario	USB
---	--	------------

1 Tabla de contenido

1	Objetivos alcances y funcionalidad	4
1.1	Objeto	4
1.2	Alcance	4
1.3	Funcionalidad	4
2	Partes de la máquina y su función	5
2.1	Vista frontal:	5
2.2	Vista posterior:.....	6
3	Instrucciones de uso:	8
4	Navegación	9
4.1	Ventana Inicial:	9
4.2	Ventana Menú:	9
4.3	Ventana sensores.....	10
4.4	Ventana Muestreo	10
4.5	Ventana Manual:	11
4.6	Ventana de prueba:.....	11
5	Captura de datos	13
6	Posibles problemas y causas:.....	15
6.1	No se comunica el PLC con el computador:	15
6.2	No están encendiendo bien los actuadores:	15
6.3	No se están guardando los datos:.....	15
6.4	El variador vota error en su pantalla:.....	15

 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	Planta de pasteurización con fines formativos Manual de Usuario	USB
---	--	------------

1 Objetivos alcances y funcionalidad

1.1 Objeto

Brindarle al usuario una guía que le permita familiarizarse con el funcionamiento y operación de la planta de pasteurización existente en la Universidad San Buenaventura.

1.2 Alcance

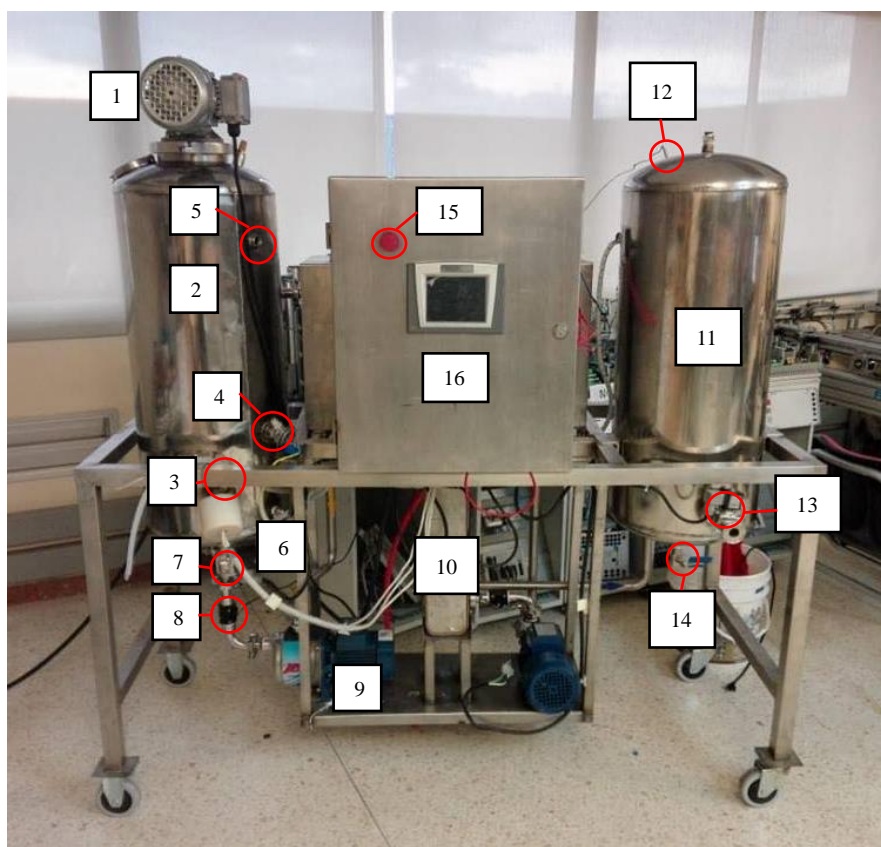
Enseñar las partes de la máquina, como operarla desde la pantalla táctil y como usar el modo de muestreo para guardar los datos en un computador.

1.3 Funcionalidad

La máquina de pasteurización permite pasteurizar líquidos mediante el proceso de pasteurización HTST y a través de un PLC con una pantalla integrada, observar sus diferentes datos con la posibilidad de poder realizar la captura de datos.

2 Partes de la máquina y su función

2.1 Vista frontal:



1. **Motor mezclador:** Este motor se mezcla el líquido a pasteurizar.
2. **Tanque 1:** Contiene el líquido a pasteurizar.
3. **Termorresistencia:** Calienta el líquido.
4. **Sensor de temperatura:** Registra la temperatura del líquido en el tanque.
5. **Sensor de nivel:** Indica cuando la maquina tiene líquido a esa altura.
6. **Sensor de nivel 2:** Indica cuando se llega a la cantidad de líquido máxima.
7. **Electroválvula 1:** Restringe o permite el paso del líquido a través de la tubería.
8. **Sensor de flujo:** Mide el caudal del líquido pasteurizado.
9. **Bomba 1:** Bombea el líquido del tanque uno a través de la tubería.
10. **Intercambiador de calor:** Baja la temperatura del líquido pasteurizado con ayuda del líquido procedente del tanque 3.
11. **Tanque 2:** Recibe el líquido procedente del tanque 1.
12. **Sensor de temperatura 2:** Mide la temperatura del líquido recibido en el tanque 2.
13. **Electroválvula 2:** Permite evacuar el líquido del tanque 2.
14. **Válvula 1:** Permite evacuar el líquido del tanque 2.
15. **Paro de emergencia:** Al ser accionado detiene todos los actuadores de la máquina.
16. **Pantalla táctil:** Permite la interacción entre el usuario y la máquina.



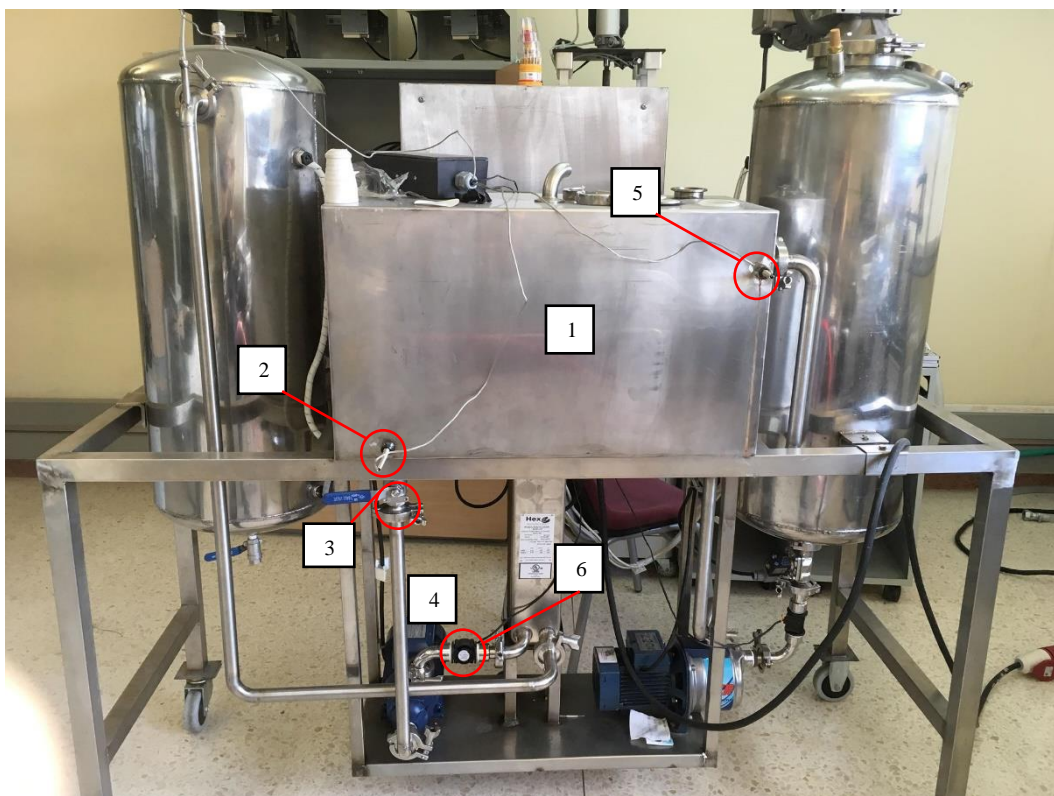
UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA

Planta de pasteurización con fines formativos


Manual de Usuario


USB

2.2 Vista posterior:



1. **Tanque 3:** Contiene el líquido refrigerante.
2. **Sensor de temperatura 3:** Mide la temperatura del líquido que sale del tanque 3.
3. **Válvula 2:** Restringe o permite el paso del líquido refrigerante a través de la tubería.
4. **Bomba 2:** Bombea el líquido refrigerante a través de la tubería.
5. **Sensor de temperatura 4:** Mide la temperatura procedente del tanque 3 después de haber pasado por el intercambiador de calor.
6. **Sensor de flujo 2:** Mide el caudal del líquido refrigerante.

 <p>UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA</p>	<p>Planta de pasteurización con fines formativos</p> <p>Manual de Usuario</p>	<p>USB</p>
--	---	-------------------

 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	Planta de pasteurización con fines formativos Manual de Usuario	USB
---	--	-----

3 Instrucciones de uso:

Paso 1: Antes de iniciar el proceso revise que el tanque 2 este vacío, y que el tanque 3 contenga agua.

Paso 2: Verifique que la válvula 1 esté cerrada y la válvula 2 este abierta

Paso 3: Conecte la clavija de la maquina a una toma trifásica con neutro.

Paso 4: Active el paso de energía accionando los disyuntores hacia arriba.

Paso 5: Verifique que el paro de emergencia no esté anclado.

Paso 6: Diríjase a la ventana "sensores" y asegurarse que el tanque 1 está lleno. (inicio/menú/sensores).

Paso 7: En la ventana "manual" se encuentran los botones start y stop para prender y apagar todos los actuadores úselos para verificar que están funcionando..

IMPORTANTE: No se podrá poner en uso la bomba 1 si la electroválvula 1 está cerrada.

Paso 8: Ir a la ventana de "Prueba" y seleccionar la temperatura a la cual se quiere pasteurizar el líquido y presionar el botón "temperatura".

Paso 9: Una vez se llegue a la temperatura deseada la termorresistencia y el mezclador pararan, mientras se está calentando el líquido se recomienda no hacer ninguna otra operación.

Paso 10: Ir a la ventana "Muestreo" y seleccionar "limpiar tabla" y después obturar "Iniciar".


Paso 11: Ir a la ventana "Prueba" y seleccionar el caudal que se desea manejar para el líquido pasteurizado y seleccionar "Flujo".

Paso 12: Una vez descargado el tanque 1 en el tanque 2 la prueba terminara automáticamente.

Paso 13: Ir a la ventana muestreo y con ayuda de los cursores de adelante y atrás ubicados en la parte inferior de la pantalla, revisar los datos guardados por el PLC.

Paso 14: Descargar los datos al ordenador.

IMPORTANTE: Si dentro de la prueba ahí algún problema inesperado, oprimir el botón de paro de emergencia y revisar el problema.

 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	Planta de pasteurización con fines formativos Manual de Usuario	USB
---	--	------------

4 Navegación

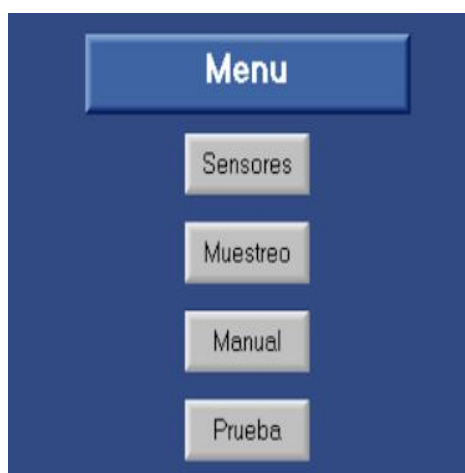
La Interfaz permite la comunicación entre el usuario y la maquina usando seis ventanas disponibles cuyas funciones serán expuestas a continuación.

4.1 Ventana Inicial:




En esta ventana se muestra el logo de la universidad San Buenaventura acompañado de un botón de inicio el cual al ser presionado está programado para dar un salto a la ventana Menú.

4.2 Ventana Menú:



En la ventana de Menú es donde el usuario podrá ir a las diferentes opciones del programa, por lo que cada uno de los botones está programado para ir a una diferente ventana, cada una con una tarea específica a realizar.

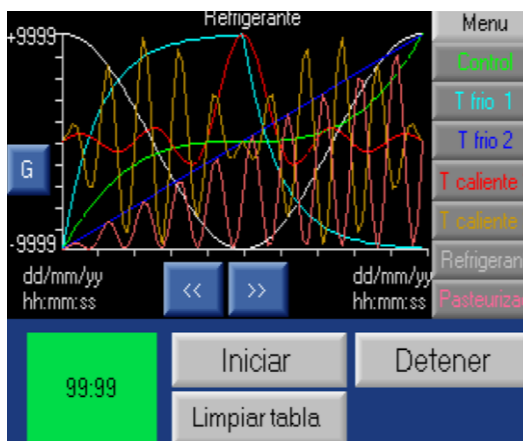
 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	Planta de pasteurización con fines formativos Manual de Usuario	USB
---	--	------------

4.3 Ventana sensores




La ventana de sensores permite la visualización de las variables presentes en el proceso, ayudando al usuario a saber su valor para poder interpretar posibles problemas dentro del sistema, los dos bombillos corresponden a los dos sensores de nivel del tanque 1; si ambos led están en color verde indican que se encuentra lleno; si solo uno se encuentra de color verde indicara que tiene poca agua y si se encuentran los dos de color rojo, indica que no tiene agua.

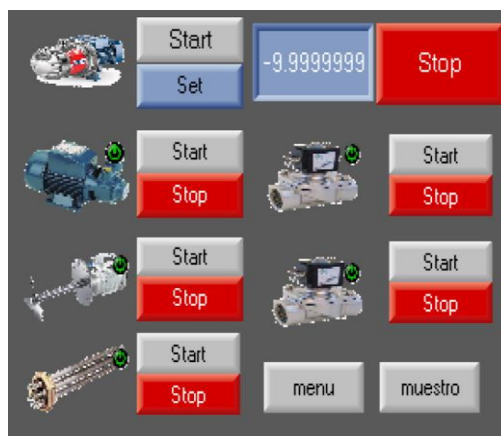
4.4 Ventana Muestreo



En esta ventana es donde se realizará el muestreo de todas las variables del proceso, en el costado derecho se encuentran siete botones cada uno con una variable del sistema escrito y de un color definido, al presionarse aparecerá o desaparecerá la gráfica de dicha variable de la ventana permitiendo así al usuario analizar con más claridad el comportamiento del proceso. En la parte izquierda inferior se encuentra el botón iniciar, el cual al ser tocado comenzará a tabular todos los datos de los sensores analógicos y la señal de referencia proporcionada por el usuario mientras el timer tenga un valor diferente a cero, una vez terminado el timer se reiniciará y se podrá volver a iniciar el muestreo, la tabla tiene una cantidad de espacio determinado por lo cual una vez llena no podrá registrar más datos, por tal motivo si se necesita realizar más pruebas se deberá guardar la tabla actual y limpiar la tabla con el botón “limpiar tabla”

 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	Planta de pasteurización con fines formativos Manual de Usuario	USB
---	--	------------

4.5 Ventana Manual:




En esta ventana se podrán encontrar todos los actuadores del sistema, donde por medio de los botones de Start y Stop el usuario podrá activar o desactivar los actuadores y así cerciorarse de que los actuadores estén funcionando, también tendrá accesos a las ventanas de muestreo y menú con los botones ubicados en la parte inferior derecha. Para poner en funcionamiento la bomba del pasteurizado, deberá poner la frecuencia a la que se desea poner en funcionamiento el motor (recomendable de 18 a 50 Hz), después presionar el botón set para fijarlo y presionar el botón start para ponerlo en marcha.


4.6 Ventana de prueba:



En esta ventana se pueden controlar dos variables del sistema como son el caudal y la temperatura. Para poder definir la temperatura deseada, ingrese en la casilla superior izquierda el valor que se desea tener (de 19°C a 80°C) y observe en la casilla superior derecha la temperatura actual del líquido, para el caso del caudal digite el caudal deseado en la casilla inferior izquierda (de 10 a 25 litros/minuto) y observe el valor del caudal actual en la casilla inferior derecha. Cuando se obture el botón temperatura, se encenderá la termorresistencia y se mantendrá encendida hasta llegar a la temperatura ingresada en la casilla previamente, y cuando se obture el botón flujo, se pondrá en funcionamiento la bomba 1, a una frecuencia que permia generar el flujo deseado. Si se requiere se podrá saltar hacia la ventana muestreo y la ventana menú a través de los dos botones denominados con dichos nombres, y para

 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	Planta de pasteurización con fines formativos Manual de Usuario	USB
---	--	------------

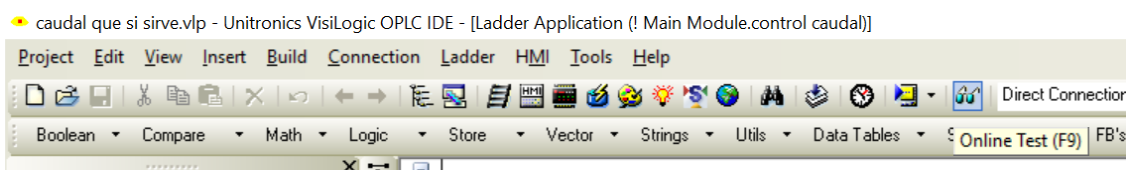
detener cualquiera de las dos pruebas se presionara el botón detener prueba.

 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	Planta de pasteurización con fines formativos Manual de Usuario	USB
---	--	------------

5 Captura de datos

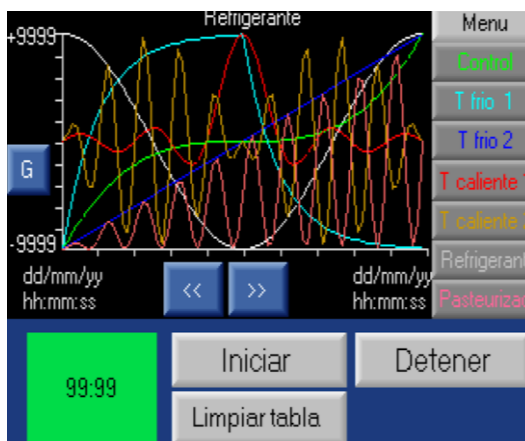
Paso 1 Verificar conexión Computador - PLC:

Primero se debe conectar el cable USB al computador y verificar que se esté comunicando con el PLC obturando el botón Online Test, si se está comunicando aparecerá una ventana con la imagen de lo que aparece en la pantalla del PLC en dicho momento.




Paso 2 Realizar la captura de los datos:

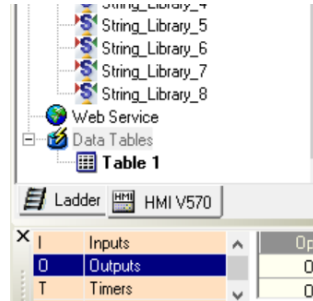
Se deberá ingresar a la ventana de muestreo y presionar el botón de limpiar tabla, después se deberá presionar el botón “iniciar” cuando se desee iniciar la prueba y cuando se quiera terminar se obturar el botón “detener”, de lo contrario terminará cuando el timer llegue a cero.



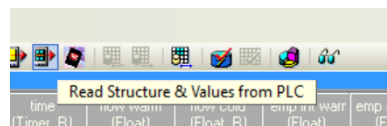
Paso 3 Transferir los datos al pc:

Lo primero que se debe hacer, es ir a la tabla que está creada bajo el nombre de “Table 1” ubicada en la parte inferior izquierda del programa.


 <p>UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA</p>	<p>Planta de pasteurización con fines formativos</p> <p>Manual de Usuario</p>	<p>USB</p>
--	---	-------------------



Al dar doble click se desplegará una tabla en la cual se depositarán los datos capturados obturando el botón “leer estructura y valores del PLC” ubicado en la barra de tareas de la ventana emergente.



Una vez descargados dichos valores se podrán seleccionar y pegar en una tabla de Excel.

 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	Planta de pasteurización con fines formativos Manual de Usuario	USB
---	--	-----

6 Posibles problemas y causas:

6.1 *No se comunica el PLC con el computador:*

1. Verificar que el cable este bien conectado.
2. verificar que estén instalados los controladores adecuados en el computador.

6.2 *No están encendiendo bien los actuadores:*


1. Verificar si el paro de emergencia está activado.
2. Algún disyuntor está evitando la circulación de la energía.
3. No estén energizados los relés del PLC.
4. Daños en los relés del PLC.
5. No este energizado el relé del tablero eléctrico.
6. Posibles problemas entre el PLC y los relés.
7. Actuadores dañados o en mal estado.

6.3 *No se están guardando los datos:*

1. Verificar que se esté realizando el procedimiento de adquisición de datos como en el manual.
2. Verificar que se está limpiando la tabla.
3. Revisar la ventana sensores para saber qué es lo que está transmitiendo el sensor.

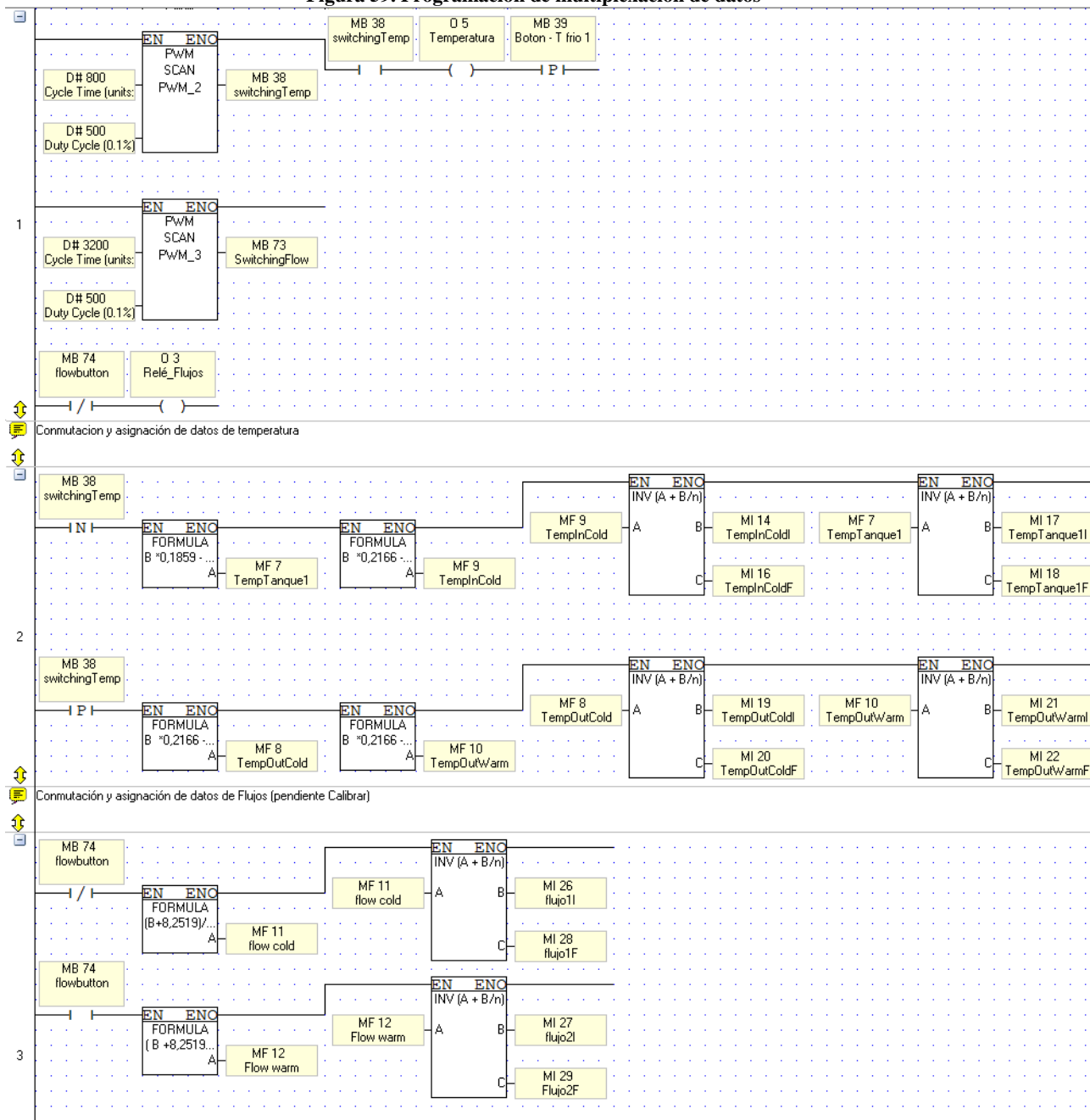
6.4 *El variador vota error en su pantalla:*

- Revisar el manual del variador y verificar que tipo de error es el que presenta.

 <p>UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA</p>	<p>Planta de pasteurización con fines formativos</p> <p>Manual de Usuario</p>	<p>USB</p>
--	---	-------------------

Anexo I. Programación del PLC.

Figura 59. Programación de multiplexación de datos



Anexo J. Configuración del variador

Tabla 19. Selección de comando de frecuencia.

F0.02	Frequency command selection	Keyboard digital setting	0
		Analog AI1 setting	1
		Analog AI2 setting	2
		Panel potentiometer setting	3
		AI1 + AI2 setting	4
		Multi-speed operation setting	5
		PID control setting	6
		Remote communications setting	7

Tabla 20. Velocidad de transmisión

F9.00	Communication baud rate setting	1200bps	0
		2400bps	1
		4800bps	2
		9600bps	3
		19200bps	4
		38400bps	5

Tabla 21. Dirección de transmisión

F9.02	Communication address of this unit	1 to 247, 0 for broadcast address
-------	------------------------------------	-----------------------------------

Tabla 22. Selección de formato de transferencia de datos.

F9.05	Data transfer format selection	0: non-standard MODBUS protocol 1: standard MODBUS protocol 2: ASCII
-------	--------------------------------	--

El variador fue configurado primeramente para que la frecuencia de alimentación del motor fuese elegida de manera remota modificando el parámetro F0.02 con la opción 7 como se muestra en la Tabla 19. Posteriormente, la opción 4 es elegida para el parámetro F9.00 que corresponde a asignarle 19200 bps a la velocidad de transmisión que el driver tendría con el PLC que estaría sin paridad por defecto. Así mismo, por preferencia del autor al variador se le asignó de dirección de transmisión 64 poniendo el valor correspondiente en el parámetro F9.02. Y, por último, con el parámetro F9.05 con la opción 1, se seleccionó formato estándar del protocolo MODBUS.

En la Tabla 23, se muestra resumidamente la configuración dada a los parámetros para hacer la comunicación posible.

Tabla 23. Configuración de Parámetros del variador

Código de parámetro	Valor
F0.02	7
F9.00	4
F9.01	0
F9.02	64
F9.05	1

Anexo K. Tablas y datos de pérdidas de energía de tuberías.

Tabla 24. Tabla de Factor de Fricción f_T para diferentes tamaños de tubería.

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_T	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_T
½	0.027	3½, 4	0.017
¾	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1¼	0.022	8–10	0.014
1½	0.021	12–16	0.013
2	0.019	18–24	0.012
2½, 3	0.018		

Tabla 25. Resistencia de válvulas y acoplamientos expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería L/D

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
— $3/4$ abierta	35
— $1/2$ abierta	160
— $1/4$ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Figura 60. Coeficiente por Contracción súbita.

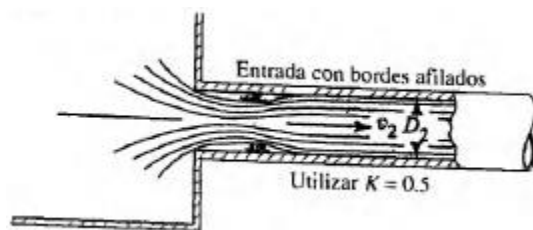


Figura 61. Coeficiente por codo a 90° .

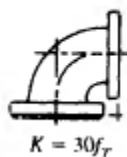


Tabla 26. Tabla de Coeficientes de Flujo C_v de diferentes válvulas.

Tipo y tamaño Válvula de bola	C_v	Tipo y tamaño Válvula de mariposa	C_v
½ pulg (20 mm)	12	1½ pulg (50 mm)	90
¾ pulg (25 mm)	25	2 pulg (63 mm)	115
1 pulg (32 mm)	37	3 pulg (90 mm)	330
1½ pulg (50 mm)	120	4 pulg (110 mm)	550
2 pulg (63 mm)	170	6 pulg (160 mm)	1150
3 pulg (90 mm)	450	8 pulg (225 mm)	2280
4 pulg (110 mm)	640	10 pulg (280 mm)	4230
6 pulg (160 mm)	1400	12 pulg (315 mm)	5600
Válvula de diafragma		Válvula de verificación tipo giratorio	
½ pulg (20 mm)	5	—	—
¾ pulg (25 mm)	9	¾ pulg (25 mm)	25
1 pulg (32 mm)	15	1 pulg (32 mm)	40
1½ pulg (50 mm)	34	1½ pulg (50 mm)	80
2 pulg (63 mm)	65	2 pulg (63 mm)	115
3 pulg (90 mm)	160	3 pulg (90 mm)	330
4 pulg (110 mm)	275	4 pulg (110 mm)	500
6 pulg (160 mm)	700	6 pulg (160 mm)	1240
—	—	8 pulg (225 mm)	2300

8 BIBLIOGRAFÍA

- Arriola, G. A. M. (2013). *Bridge MODBUS RTU y TCP para el control de la Planta Multiproceso: Conexión entre MODBUS RTU y MODBUS TCP/IP*. Editorial Académica Española. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=WgVqmAEACAAJ>
- Burton, H. (2012). *Ultra-High-Temperature Processing of Milk and Milk Products*. Springer US. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=l7StBgAAQBAJ>
- Converter, V. (n.d.). LM331, 1–6.
- Ibarz Ribas, A., & Barbosa Cánovas, G. V. (2011). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Mundi-Prensa. <https://doi.org/10.1177/027836499101000604>
- MATHIVANAN, N. (2007). *PC-BASED INSTRUMENTATION: CONCEPTS AND PRACTICE*. PHI Learning. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=OB65rMNQDo8C>
- Mott, R. L. (2002). *Mecánica de Fluidos. Mecánica de Fluidos*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Playing, R. B. (2009). POWTRAN PI130 SERIES USER MANUAL. *Journal of Empirical Research on Human Research Ethics : JERHRE*, 4(3), i. <https://doi.org/10.1525/jer.2009.4.3.toc>
- Specifications, T. (n.d.). Vision™ OPLC™, 9–11.
- Ingeniero José Fernando Salazar,(2001).Diseño de equipos de transferencia de calor(tesis de maestría).Universidad Autónoma de Nuevo León,México.