

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Implementación del Control Automático de intercambiadores
de calor y condensadores de vapor del Laboratorio de
Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de
Guatemala**

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por Luis Diego
Sierra Córdón para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Mecatrónica

Guatemala
2019

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



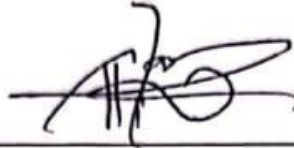
**Implementación del Control Automático de intercambiadores
de calor y condensadores de vapor del Laboratorio de
Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de
Guatemala**

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por Luis Diego
Sierra Córdón para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Mecatrónica

Guatemala

2019

Vo.Bo.:



(f)

MSc. Carlos Esquit

Tribunal Examinador:



(f)

MSc. Carlos Esquit

(f)

MSc. Gamahel Zambrano

(f)



Luis Pedro Montenegro

Fecha de aprobación: Guatemala, 18 de Junio de 2019.

Este trabajo de graduación nace por la experiencia obtenida en las prácticas profesionales realizadas en Planta La Mariposa y por el deseo de trabajar en un campo de interés del autor en la automatización de diversos sistemas industriales. El tema de esta tesis es de suma importancia en la actualidad para la optimización de sistemas industriales. El trabajo de graduación tuvo bastante problema con la entrega de materiales sin embargo se logro el objetivo principal.

El desarrollo de este trabajo fue, en general, bastante fluido y cómodo para la actualización y modificación del sistema industrial, no obstante, la instalación fue bastante corrida por el tiempo limitado que se tuvo para la entrega del trabajo.

Agradezco a mis padres por haber financiado mis estudios, a mi madre, Lorena Córdon, por todo el apoyo incondicional en los años de la carrera. A todas aquellas personas que me dieron su ayuda no solo en los momentos fáciles sino también en los más difíciles. Cabe mencionar la ayuda proporcionada por las personas del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle la cual fue de suma importancia para la culminación del trabajo de graduación. Agradezco de igual forma a mi asesor y director de carrera, Carlos Esquit por todo el apoyo brindado que me ayudó a culminar este trabajo.

Agradecimientos

Principalmente quiero agradecer a Dios por bendecirme con la oportunidad de estudiar en la mejor universidad para Ingeniería Mecatrónica en Guatemala, la Universidad del Valle de Guatemala. También quiero agradecer profundamente a todas aquellas personas que hicieron que esto fuera posible. A mis padres que me dieron todo el apoyo económico, a mi mamá que siempre tuvo su apoyo incondicional, a mi familia en general que me ayudaron cada vez que lo necesite. También agradezco a todos mis compañeros de carrera que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas.

Por otro lado agradezco a mi director de carrera Carlos Esquit que me dio su apoyo a lo largo de la carrera con diversos problemas, y de igual forma a todos los catedráticos que me enseñaron todo el conocimiento que fue aplicado en la tesis y también en la vida. De igual forma agradezco al departamento de Ing. Química de la Universidad del Valle de Guatemala por darme la confianza y apoyo para trabajar dentro de sus instalaciones.

Prefacio	v
Agradecimientos	vii
Lista de figuras	xiv
Lista de cuadros	xv
Resumen	xvii
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	5
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Marco teórico	9
5.1. Intercambiador de calor de tubos concéntricos	10
5.2. Intercambiador de calor de placas	10
5.3. Intercambiador de calor de concha y tubos	11
5.4. Condensadores de vapor	12
5.5. Controlador de Lógica Programable	12
5.6. Bombas centrífugas de agua	13
5.7. Válvulas solenoides	14
5.8. Medidor de temperatura de resistencia variable	15
5.9. Válvulas proporcionales	15
5.10. Medidor de flujo de área variable	16
5.11. Sensores	17
5.12. Pantalla HMI	17

6. Metodología	19
6.1. Controlador de lógica programable (PLC)	19
6.2. Pantalla HMI Touch	20
6.3. Módulo de entradas	21
6.3.1. Módulo de entradas/salidas digitales	21
6.3.2. Módulo de entradas analógicas	22
6.3.3. Módulo de RTDs	22
6.4. Módulos de salidas	23
6.4.1. Módulo de salidas a relé	23
6.4.2. Módulo de salidas analógicas	24
6.5. Fuente de alimentación de expansión	25
6.6. Dispositivos de entradas y salidas	26
6.6.1. Rotámetro	26
6.6.2. Válvulas	27
6.6.3. Sensores de temperatura RTD	29
6.6.4. Bomba de agua	30
6.7. Dispositivos de potencia	32
6.7.1. Fuente de alimentación general	32
6.7.2. Guarda motores	32
6.7.3. Contactores	33
6.7.4. Relés de dos polos	33
6.7.5. Seleccionador ON/OFF	33
6.7.6. Borneras de conexión	33
6.7.7. Borneras de protección	34
7. Resultados	39
7.1. Preparación de la estructura	39
7.2. Montaje de equipo	40
7.3. Condensadores de vapor instalados	44
7.4. Intercambiadores de calor instalados	44
7.5. Panel instalado	45
7.6. Seleccionador principal instalado	47
7.7. Switches principales del panel	48
7.8. Botón de paro de emergencia	48
7.9. Fuente de alimentación instalada	49
7.10. PLC instalado	49
7.11. Módulos instalados	50
7.12. Guardamotors instalados	50
7.13. Contactores instalados	51
7.14. Borneras de conexión instaladas	51
7.15. Borneras de protección instaladas	52
7.16. Pantalla instalada	52
7.17. Interfaz humano máquina	53
7.17.1. Main	53
7.17.2. Placas	53
7.17.3. Tubos concéntricos	54
7.17.4. ConchaYTubos	54
7.17.5. Condensador1	54

7.17.6. Condensador5	54
7.17.7. Flujos	54
7.17.8. Flujo	54
7.17.9. Variables	54
8. Discusión	65
9. Conclusiones	69
10.Recomendaciones	71
10.1. Para el uso del equipo	71
11.Bibliografía	73
Anexos	75
A. Main	75
B. ON OFF CONTROL	81
C. Temp	83
D. Alarms ON	87
E. Control de flujo	89

Lista de figuras

1.	Diagrama con los tipos de intercambiadores de calor.	9
2.	Estructura de un intercambiador de calor de tubo concéntricos.	10
3.	Estructura de un intercambiador de calor de placas.	11
4.	Estructura de un intercambiador de calor de concha y tubos	11
5.	Estructura de un condensador de vapor.	12
6.	Programador Lógico Programable (PLC).	13
7.	Bomba centrífuga de agua.	13
8.	Funcionamiento de una válvula solenoide.	14
9.	Estructura de una RTD.	15
10.	Funcionamiento de una válvula proporcional.	16
11.	Estructura de un rotámetro.	16
12.	Sensores utilizados en sistemas de automatización.	17
13.	Pantallas HMI.	17
14.	Controlador lógico programable Allen Bradley 1769-L35E.	20
15.	Panel gráfico Allen Bradley PanelView Plus 7.	20
16.	Módulo de E/S digitales Allen Bradley 1769-IQ16.	21
17.	Módulo de entradas analógicas Allen Bradley 1769-IF8.	22
18.	Módulo de RTDs Allen Bradley 1769-IR6.	23
19.	Módulo de salidas a relé Allen Bradley 1769-OW16.	24
20.	Módulo de salidas analógicas Allen Bradley 1769-OF4CI.	25
21.	Fuente de alimentación entre módulos Allen Bradley 1769-PA2	25
22.	Medidor de flujo de área variable-transmisor, marca Sure Flow.	26
23.	Válvula Parker Skinner para agua caliente/vapor.	27
24.	Válvula Parker Skinner para agua fría.	28
25.	Válvula proporcional marca ASCO.	29
26.	RTD marca Barber-Colman.	30
27.	Bomba para agua caliente marca Sta-Rite	31
28.	Fuente de alimentación marca Telemecanique.	32
29.	Interruptor de encendido y apagado.	33
30.	Circuito de potencia utilizado en el sistema a automatizar.	34
31.	Diagrama de señales de control.	35
32.	Diagrama de tuberías e instrumentación (PID).	37

33.	Preparación de la estructura.	39
34.	Montaje de los tanques.	40
35.	Montaje del intercambiador de calor de concha y tubos.	41
36.	Montaje del intercambiador de calor de tubos concéntricos.	41
37.	Montaje del intercambiador de calor de placas	42
38.	Montaje de las trampas de vapor.	42
39.	Montaje de los medidores de flujo variable.	43
40.	Montaje de las válvulas de vapor marca Parker.	43
41.	Montaje de los dos condensadores de vapor instalados.	44
42.	Montaje de los tres intercambiadores de calor instalados.	45
43.	Montaje del panel nuevo con sus respectivos dispositivos instalados (Exterior).	45
44.	Montaje del panel nuevo con sus respectivos dispositivos instalados (Interior).	46
45.	Montaje del panel nuevo con sus respectivos dispositivos instalados (Interior puerta).	46
46.	Instalación interna del seleccionador principal.	47
47.	Instalación externa del seleccionador principal.	47
48.	Instalación de switches e indicadores en la compuerta del panel de control.	48
49.	Instalación del botón de paro de emergencia.	48
50.	Instalación de la fuente de alimentación.	49
51.	Instalación del PLC.	49
52.	Instalación del bus de datos que conecta el rack 1 con el rack 2	50
53.	Instalación de los dos guardamotores.	50
54.	Instalación de los contactores.	51
55.	Instalación de las borneras de conexión.	51
56.	Instalación de las borneras de protección con fusibles.	52
57.	Instalación de la pantalla HMI Touch (exterior).	52
58.	Instalación de la pantalla HMI Touch (interior).	53
59.	Pantalla Main	55
60.	Pantalla placas.	56
61.	Pantalla tubos concéntricos.	57
62.	Pantalla ConchaYTubos.	58
63.	Pantalla condensadores1.	59
64.	Pantalla condensadores5.	60
65.	Pantalla flujo.	61
66.	Pantalla flujos.	62
67.	Pantalla variables.	63

Lista de cuadros

1.	Especificaciones del PLC 1769-L35E.	19
2.	Especificaciones de terminal PanelView Plus 7.	20
3.	Especificaciones del módulo de entradas analógicas 1769-IF8.	21
4.	Especificaciones del módulo de entradas analógicas 1769-IF8.	22
5.	Especificaciones del módulo de RTDs 1769-IR6.	23
6.	Especificaciones del módulo de salidas a relé 1769-OW8I.	24
7.	Especificaciones del módulo de salidas analógicas 1769-OF4CI.	24
8.	Especificaciones de la fuente de expansión 1769-PA2.	25
9.	Especificaciones del medidor de área variable - transmisor, marca Sure Flow.	26
10.	Especificaciones de la válvula solenoide para agua caliente/vapor marca Parker.	27
11.	Especificaciones de la válvula solenoide para agua fría de marca Parker.	28
12.	Especificaciones de la válvula proporcional marca ASCO.	29
13.	Especificaciones del medidor de temperatura de resistencia variable.	30
14.	Especificaciones de bomba de agua marca Sta-Rite.	31
15.	Especificaciones de bomba para agua marca Sta-Rite.	31
16.	Especificaciones de la fuente de alimentación marca Telemecanique.	32
17.	Número de terminales por dispositivo que van al panel.	36
18.	Código de colores del sistema.	36
19.	77
20.	78

El trabajo tiene como objetivo realizar la actualización el sistema de automatización que controla el proceso de transferencia de calor en intercambiadores de calor con H₂O como refrigerante y como producto en la base de Intercambiadores de calor y condensadores de vapor del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. La base de intercambiadores de calor y condensadores cuenta con un intercambiador de placas, un intercambiador de concha y tubo, un intercambiador de tubos concéntricos, un condensador de vapor de 5 tubos y un condensador de vapor de un tubo. La elevación en la temperatura del agua caliente debe de tomar en cuenta el punto de evaporación del agua debido a que en el sistema se tienen bombas centrífugas, las cuales no pueden trabajar con fluidos en estado gaseoso.

La implementación de un sistema automatizado para la base de intercambiadores y condensadores facilitará el monitoreo de variables y control de los tres diferentes intercambiadores y de los dos diferentes condensadores de vapor. Dicha implementación tendrá un ambiente mucho más industrial y educativo para que los estudiantes se puedan familiarizar de una mejor manera con los temas de transferencia de calor y con la industria. El diseño que se implementará será en base a un diseño previo realizado como trabajo de graduación por otro estudiante de ingeniería electrónica de la Universidad del Valle de Guatemala. Dicho diseño contiene las diferentes entradas y salidas y válvulas y sensores que utilizará en el sistema no obstante se realizará un análisis de sistema para verificar que sea óptimo y eficiente. Para lograr un ambiente industrial y un mejor monitoreo del sistema se requerirá de una pantalla táctil y una interfaz para la visualización de las variables y del proceso; de igual forma de requerirá el movimiento de algunos dispositivos para que el sistema sea práctico de manejar.

Hoy en día la automatización es una parte demasiado importante de la industria debido a que gracias a ella se tienen procesos mucho más optimizados y con menos errores. El control de dichos procesos constituye a un área amplia de la mecatrónica. Los dispositivos que más han dado la posibilidad de que la automatización sea tan amplia en la industria son los controladores lógicos programables (PLC).

La ingeniería mecatrónica es la rama de la ingeniería especializada en electrónica, mecánica y programación de dispositivos lógicos y gracias a ella nace la automatización de procesos industriales.

Este trabajo de graduación consiste en realizar una actualización en lo que el banco de intercambiadores de calor y condensadores de vapor en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Para dicha actualización se procedió a verificar cada dispositivo, montar el equipo nuevo, programar el controlador lógico programable y programar una pantalla táctil. El proyecto consiste en unificar cinco procesos diferentes los cuales son: Intercambio de calor por medio de un intercambiador de placas, por medio de un intercambiador de concha y tubos y por medio de un intercambiador de tubos concéntricos; asimismo la condensación de vapor en un condensador de vapor de un tubo y en un condensador de vapor de cinco tubos.

El objetivo principal de proyecto es realizar una actualización de todo el sistema y lograr que el sistema completo pueda ser controlado y monitoreado desde una pantalla táctil para que así los estudiantes puedan realizar practicas de laboratorio con diferentes procesos de intercambio de calor. Todo esto para poder dar a los estudiantes un ambiente industrial donde ya no se encuentran computadoras y donde el proceso es automatizado en su totalidad.

Dicho trabajo de graduación tiene como finalidad que los estudiantes tengan un ambiente mas industrial y así a la hora de salir al trabajar estén familiarizados con la industria ya que todos los componentes utilizados en el sistema son utilizados en las industrias mas grandes del país.

CAPÍTULO 2

Antecedentes

El trabajo de graduación realizado nace como una continuación y mejora del proceso de automatización del banco de intercambiadores de calor y condensadores de vapor en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Dicha automatización se realizó en el año dos mil diez, pero desafortunadamente falló y se necesitaba poner en marcha de nuevo y realizar ciertas actualizaciones. Dicho trabajo se tomó debido a que los demás equipos antiguos fueron trabajados en el año 2018 y el único que no se había trabajado era el banco de intercambiadores de calor y condensadores de vapor.

El trabajo de graduación nació de la necesidad del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala de tener un banco que pudiera combinar diversas formas de intercambio de energía que fueran utilizadas en la industria y que también mezclaran un ambiente industrial. El proyecto fue una actualización de un proyecto anteriormente trabajado en cual había dejado de funcionar, por solicitud del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala se decidió trabajar en el banco de intercambiadores de calor y condensadores de vapor para ponerlo a funcionar nuevamente y hacerle las mejoras necesarias para que fuera más eficiente y tuviera una actualización de dispositivos.

El proyecto forma parte de una migración de las practicas convencionales a algo más automatizado que cuente con un ambiente que se pueda encontrar en la industria. Por ello la actualización de ciertos dispositivos. Por otro lado, el sistema necesitaba una reprogramación del PLC y de la interfaz gráfica debido a que se necesitaban más sensores y una interfaz más simple de utilizar.

La puesta en marcha del proyecto comprende la instalación de sensores de temperatura, nivel, control de flujo, válvulas solenoides, válvulas proporcionales, bombas centrifugas, llaves de paso manuales, trampas de vapor y componentes electrónicos para el control del sistema. Cada elemento elegido para el sistema fue ajustado dependiendo de su aplicación. En la parte de control se colocaron muchos más dispositivos los cuales ayudan a proteger el sistema se sobrecargas, a una mejor comunicación, etc.

4.1. Objetivo general

Actualizar el sistema de automatización que controla el proceso de transferencia de calor, en el banco de intercambiadores de calor del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, para aumentar la temperatura del agua, usando vapor y obteniendo agua caliente y condensados.

4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el sistema instalado, determinando los requerimientos que faciliten el uso de los intercambiadores y condensadores en una práctica de laboratorio, y así crear un ambiente industrial en el banco de Intercambiadores de calor y condensadores de vapor, del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Implementar una pantalla táctil para facilitar el uso, suprimir la necesidad de una computadora en conjunto con los softwares y eliminar riesgos de corto circuito, al momento de hacer uso del banco de Intercambiadores de calor y condensadores de vapor del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Programar en un PLC Allen Bradley un sistema para la operación y el control del proceso de transferencia de calor en diferentes tipos de intercambiadores de calor y condensadores de vapor.
- Actualizar los instrumentos de paso (válvulas), nivel, presión y temperatura del proceso de transferencia de calor y dinámica de fluidos, necesarios para hacer más eficiente el control del sistema.
- Verificar que el funcionamiento del sistema modificado en el banco de intercambiadores de calor y condensadores de vapor, cumpla con los objetivos de las prácticas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Un intercambiador de calor es un equipo en el cual dos fluidos intercambian calor con el objeto de calentar o enfriar uno de ellos (llamado fluido de proceso) utilizando el otro (fluido de servicio) como foco de calor o de frío. Si las circunstancias lo permiten, lo más conveniente para ahorrar energía es que ambos fluidos sean de proceso. [1]

En la Figura 1 se presenta una panorámica general de los intercambiadores de calor mas comunes existentes. Aunque su uso con los distintos tipos de fluidos no es rígida, unas configuraciones son más adecuadas que otras para cada pareja de fluidos. Los recuperadores son intercambiadores sin almacenamiento donde los fluidos circulan simultáneamente a través del intercambiador en zonas separadas y el calor es transferido desde el fluido de proceso al fluido de servicio a través de una pared que los separa. [1]

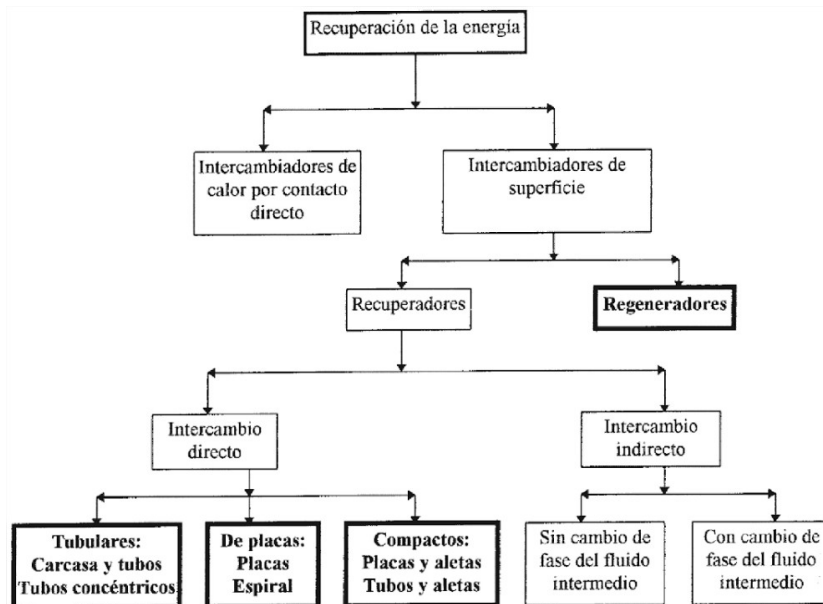


Figura 1: Diagrama con los tipos de intercambiadores de calor.

5.1. Intercambiador de calor de tubos concéntricos

También llamado intercambiador de doble tubo, el intercambiador de calor de tubos concéntricos está constituido por dos tubos con el mismo eje central, por los que circula un fluido por el interior del tubo interno y otro fluido por el espacio anular. Intercambian calor a través de la pared que separa a los dos fluidos. Se usan para intercambiar pequeños caudales de calor. En la Figura 2 se muestra como están constituidos estos intercambiadores de forma interna y externa. [2]

Dicho intercambiador es el tipo más simple que se puede encontrar de tubos rectos. El flujo en su mayoría de veces es en contracorriente aunque cuando se demandan grandes caudales se puede realizar un arreglo serie-paralelo. Normalmente el fluido frío se coloca en espacio anular y el caliente en el espacio interno. [2]

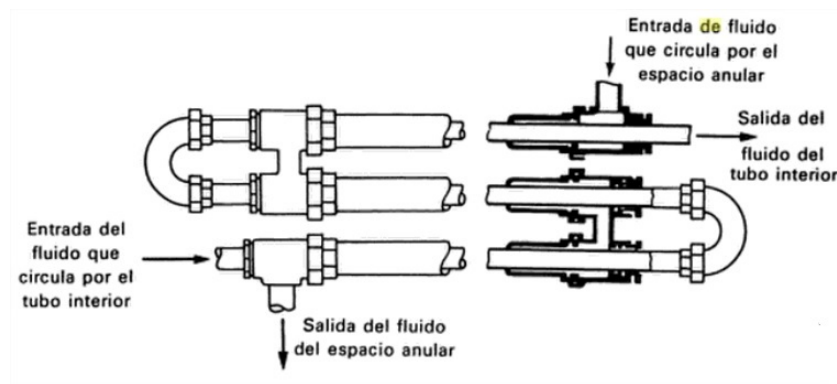


Figura 2: Estructura de un intercambiador de calor de tubo concéntricos.

5.2. Intercambiador de calor de placas

El intercambiador de calor de placas consta de una serie de placas con pasos corrugados y aplastados para el flujo. Los fluidos de servicio y de proceso fluyen en pasos alternados, de este modo cada corriente de fluido de proceso queda rodeada por dos corrientes de fluido de servicio o viceversa, lo que da por resultado una transferencia muy eficaz de calor. Asimismo, este tipo de intercambiadores pueden crecer al aumentar la demanda de transferencia de calor sencillamente montando más placas. Resultan muy apropiados para aplicaciones de intercambio de calor líquido hacia líquido, siempre que las corrientes de los fluidos de servicio y de proceso se encuentren más o menos a la misma presión. [3]

Su diseño está basado en sustituir las superficies tubulares por superficies planas con ciertas rugosidades. Estos intercambiadores pueden desmontarse con facilidad para su limpieza y tienen poco volumen, aunque su precio es normalmente elevado. [2]

Existen diversos tipos de corrugado para las placas, entre ellos tenemos 2 de los más importantes: el tipo whasboard y el tipo herringbone. El primero cuenta con líneas horizontales paralelas y el segundo cuenta con diferentes patrones a lo largo de toda la placa. En estos tipos de intercambiadores se pueden colocar la cantidad de placas que se desee, lo cual

puede ayudar a la eficiencia en el intercambio de calor. [2]

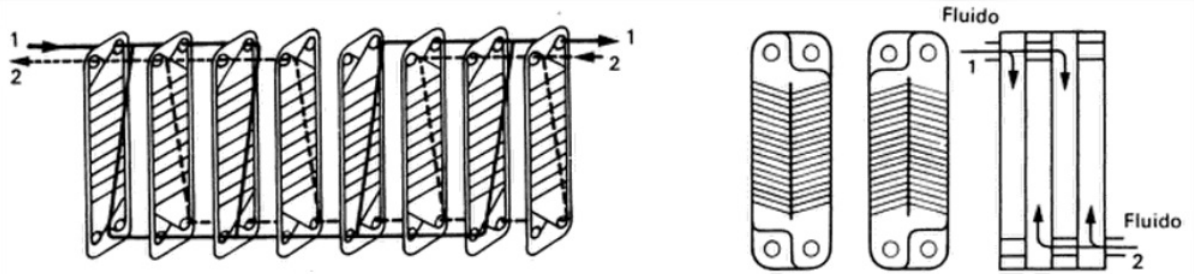


Figura 3: Estructura de un intercambiador de calor de placas.

5.3. Intercambiador de calor de concha y tubos

También llamados intercambiadores de calor de carcasa y tubos, están compuestos por una cubierta cilíndrica en cuyo interior se dispone un haz de tubos de pequeño diámetro, paralelamente al eje del cilindro. Un fluido se hace circular por el interior de los tubos, mientras que el segundo fluido circula por el interior de la cubierta bañando los tubos del haz por su pared exterior. Es un tipo de dispositivo que se usa muy frecuentemente en la industria y se presenta en varios modelos distintos según las aplicaciones. [2]

Hasta hace relativamente poco tiempo estos intercambiadores estaban constituidos principalmente con materiales metálicos, pero actualmente pueden construirse en diversos materiales plásticos, como el politetrafluoroetileno, mucho más caro pero resistente a fluidos agresivos. [2]

Normalmente se utilizan para sistemas en lo que se requieren grandes superficies de intercambio de calor, generalmente caudales mayores a los que puede manejar un intercambiador de calor de tubos concéntricos. [4]

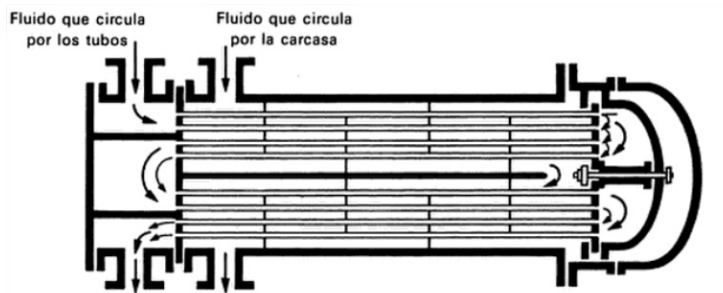


Figura 4: Estructura de un intercambiador de calor de concha y tubos

5.4. Condensadores de vapor

Los condensadores de vapor son aparatos en los cuales se condensa el vapor de escape procedente de máquinas y turbinas, y de donde el aire y otros gases no condensables son evacuados en forma continua. Dos son las ventajas que pueden conseguirse empleando condensadores en máquinas y turbinas de vapor: disminución de la presión de escape, con el consiguiente aumento en energía utilizable; y recuperación del condensado para utilizarlo como agua de alimentación para las calderas. [4]

Son utilizados muchas veces en la industria de refrigeración, el aire acondicionado, alimentos, etc. La condensación normalmente se utiliza para condensar vapor después de realizar un trabajo termodinámico. La función principal es lograr ser el punto frío de un flujo a alta temperatura dentro de un ciclo termodinámico, en este caso llevar el vapor de un estado gaseoso a un estado líquido. [4]

Los condensadores de vapor pueden ser muy compactos debido a las excelentes características que tiene el agua para transferir el calor. Existen diferentes construcciones de los mismos como: Casco y serpentín, casco y tubo, y tubo dentro de tubo. Normalmente el agua corre por el serpentín o tuberías en el interior de una carcasa cerrada en la que se descarga el gas caliente. [2]

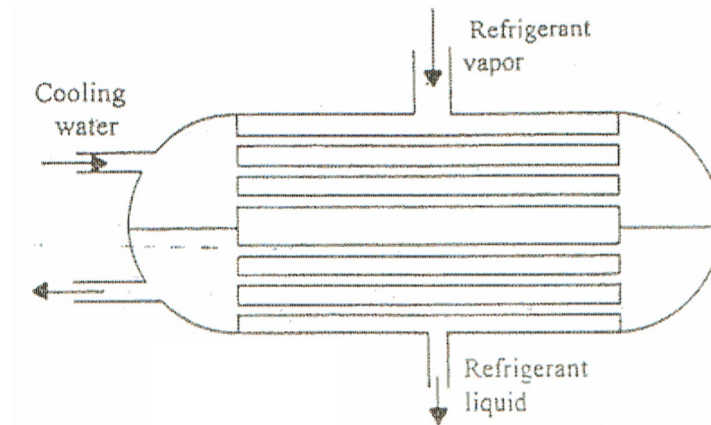


Figura 5: Estructura de un condensador de vapor.

5.5. Controlador de Lógica Programable

Según la NEMA (National Electrical Manufacturers Association, Asociación nacional de fabricantes eléctricos) un controlador lógico programable es “un aparato electrónico digital que usa una memoria programable para almacenar internamente instrucciones para implementar funciones específicas, como lógicas, secuencia, sincronización, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos digitales o analógicos de entrada y salida, diversas clases de máquinas o procesos”. [5]

Es un dispositivo que controla una máquina o proceso y puede considerarse simplemente

como una caja de control con dos filas de terminales: una para salida y la otra para entrada. Las terminales de salida proporcionan comandos para conectar a dispositivos como válvulas solenoides, motores, luces, bocinas y otros dispositivos de salida. Las terminales de entrada reciben señales de retroalimentación (feedback) para conexión a dispositivos como interruptores de láminas, disyuntores de seguridad, sensores de proximidad, sensores fotoeléctricos, pulsadores e interruptores manuales, y otros dispositivos de entrada. [5]



Figura 6: Programador Lógico Programable (PLC).

5.6. Bombas centrífugas de agua

Las bombas reciprocantes se utilizaron durante muchos años y su sustitución por las centrífugas ha corrido al parejo de la sustitución el vapor por la energía eléctrica. Los progresos en motores eléctricos han ayudado a que las bombas centrífugas con motores eléctricos se utilicen mas debido a que cada vez son mas ligeras y más baratas. Al inicio no eran muy cotizadas debido a que eran muy poco eficientes; sin embargo, ha habido mejoras con las investigaciones han llegado a ser aproximadamente 2/3 partes de las bombas usadas hoy en día. Tienen aspectos a favor como condiciones de descarga constante, a una presión dada; y además no presentan problemas de válvulas. [6]

Actualmente las bombas centrífugas también cubren el área de altas presiones, gracias a que existen las bombas centrífugas de varios pasos accionadas a altas velocidades. Las bombas centrífugas alcanzan desde un galón por minuto hasta un millón de galones por minuto. Existen bombas centrífugas que se utilizan en las presas de almacenamiento europeas y americanas que exceden los 100,000 caballos de fuerza. [6]



Figura 7: Bomba centrífuga de agua.

5.7. Válvulas solenoides

Las válvulas solenoides son válvulas que están controladas por un servomotor. Existen diferentes tipos de válvulas solenoides, las más comunes son las todo-nada, que cuando actúa el motor abre o cierra el circuito. También existen válvulas solenoides de tres vías que dejan pasar el fluido refrigerante por un sentido u otro. [7]

Este tipo de válvulas la característica principal es que se puede hacer actuar desde el cuadro de maniobra y no hay que manipularlas donde estén situadas. Con las válvulas solenoides se puede optimizar el funcionamiento correcto del circuito, ya que van a actuar en función de impulsos que estarán regulados, por relés, por el cuadro de maniobra o por una placa electrónica, que según las lecturas de las sondas de temperatura y de los presostatos mandarán una acción u otra sobre la válvula. [7]

Las válvulas solenoides pueden cerrarse por gravedad, por la presión de un fluido o por resorte; y son abiertas por el movimiento de un émbolo operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente. [7]

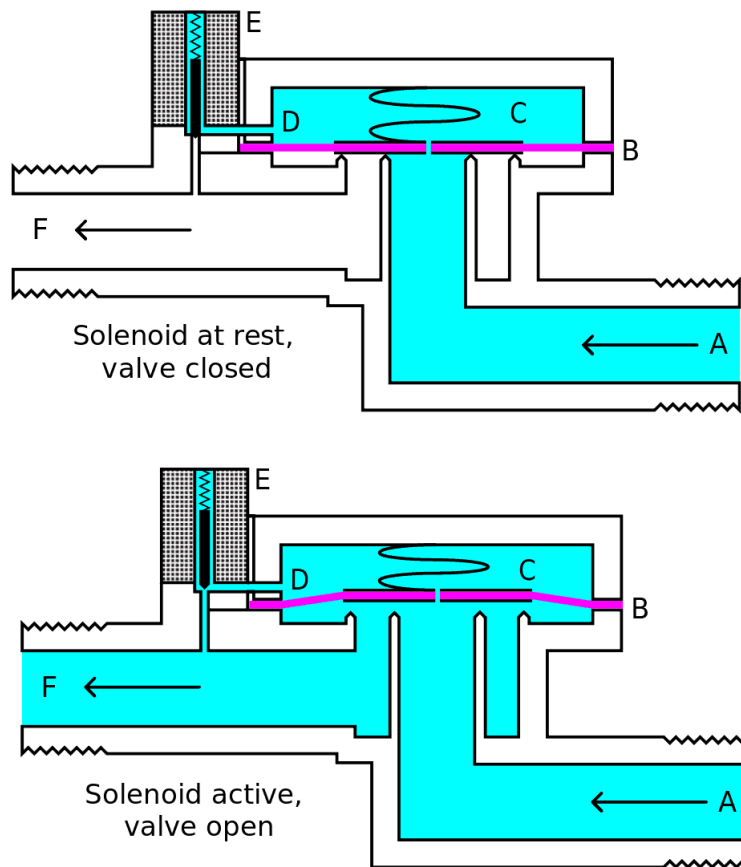


Figura 8: Funcionamiento de una válvula solenoide.

5.8. Medidor de temperatura de resistencia variable

Esta formado por un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica. [8]

Los metales que son utilizados usualmente para estos detectores de resistencia son como primer ligar platino, níquel, plata, tungsteno , cobre, etc. El primer material es el más adecuado debido a que es el más exacto y estable para medir temperaturas. En general la sonda mas utilizada a nivel industrial tiene una resistencia de 100 ohmios a 0°C. [8]

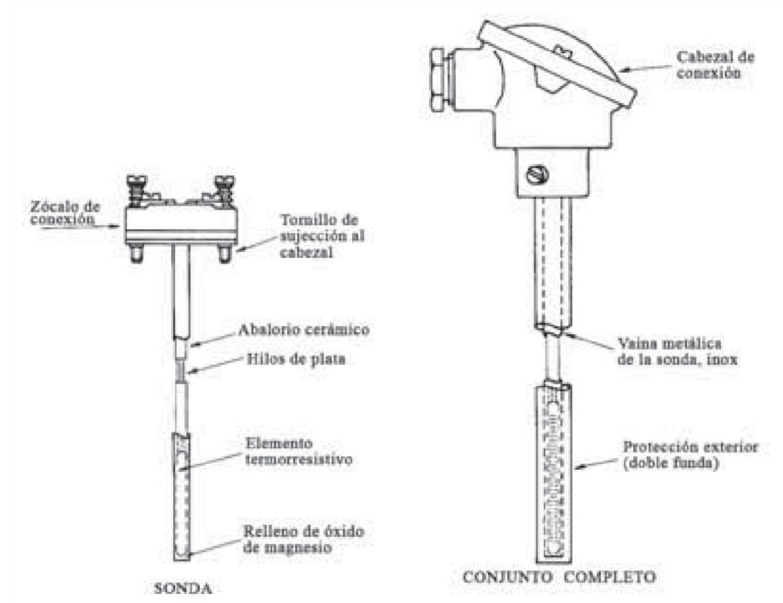


Figura 9: Estructura de una RTD.

5.9. Válvulas proporcionales

Las válvulas proporcionales son aquellas en que el caudal o la presión a la salida de la válvula es proporcional a una señal eléctrica analógica de entrada. De esta forma se obtienen valores intermedios de presión o caudal, a diferencia de las válvulas solenoides (todo o nada). [9]

Las válvulas proporcionales pueden clasificarse en válvulas de caudal y válvulas de presión. Las primeras regulan el caudal de manera continua entre el valor cero y un valor máximo. Disponen de un numero variable de vías y de posiciones. Las válvulas de presión regulan este parámetro en su salida igualmente de manera continua, entre un valor mínimo y un valor máximo, equivalente a la presión de entrada. [9]

Las válvulas proporcionales son controladas con aire comprimido, y electrónicamente pueden tener la posición deseada con el caudal deseado para cualquier sistema. Regularmente la posición se controla con un PID para poder tener mejores resultados a la hora de querer una posición exacta. Las válvulas proporcionales son válvulas de infinitas posiciones en

las que la presión, caudal, entre otras, es proporcional a la señal de entrada. Con una hidráulica proporcional se puede lograr hacer accionamientos más rápidos, simples y exactos, controlados por PLCs. [9]

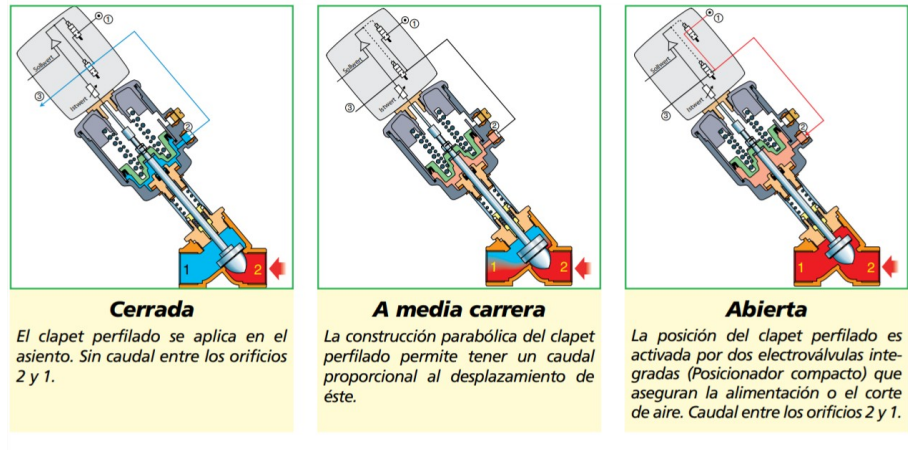


Figura 10: Funcionamiento de una válvula proporcional.

5.10. Medidor de flujo de área variable

También llamado Rotámetro, está constituido por un tubo vertical de área interna variable, a través del cual se mueve el flujo en sentido ascendente y un flotador, bien sea esférico o cónico, que tiene una densidad mayor que la del fluido. El flotador crea un pasaje anular entre su máxima circunferencia y el interior del tubo. A medida que el flujo varía, el flotador sube o baja para variar el área de flujo. La caída de presión permanece constante y la posición del flotador indica la tasa de flujo. [8]

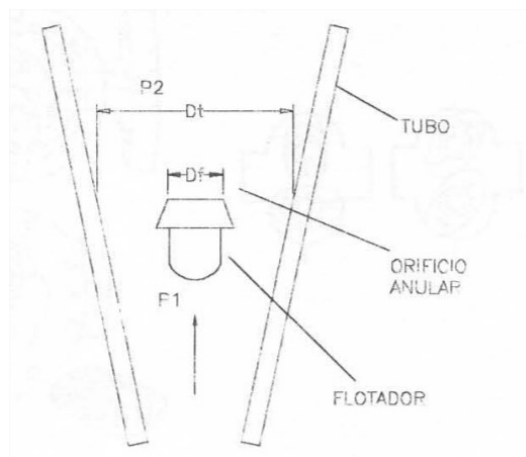


Figura 11: Estructura de un rotámetro.

5.11. Sensores

Los sensores son instrumentos de medición que captan el valor de la variable de proceso y envían una señal de salida predeterminada. El sensor puede formar parte de otro instrumento (por ejemplo, un transmisor) o bien puede estar separado. También se le denomina detector o elemento primario por estar en contacto con la variable, con lo que utilizado absorbe energía del medio controlado para dar, al sistema de medición, una indicación en respuesta a la variación de la variable. [10]



Figura 12: Sensores utilizados en sistemas de automatización.

5.12. Pantalla HMI

La pantalla HMI (Human Machine Interface) es la interfaz entre el proceso y los operarios; se trata básicamente de un panel de instrumentos del operario. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar los procesos industriales y de fabricación. La pantalla HMI ayuda a traducir variables para que los operadores puedan tener información mucho más útil y procesable.

La función de una HMI es mostrar todo tiempo de información operativa en tiempo real. Ayudan a ver gráficos y procesos en serie para un mejor control del sistema. Permiten de igual forma controlar el sistema y así mismo optimizarlo.



Figura 13: Pantallas HMI.

Selección de componentes

6.1. Controlador de lógica programable (PLC)

El controlador de lógica programable elegido es de la marca Allen Bradley, de la familia CompactLogix 1769-L35E. Se eligió dicho modelo debido a que cuenta con una memoria con un tamaño amplio para cualquier tipo de programa, comunicación tipo ethernet y RS-232 serial port, puede ser programado en ladder y tiene capacidad de expansión de módulos bastante amplia; se eligió debido a que en comparación con los demás de la familia, es el que más expansión tiene y cuenta con puertos de comunicación accesibles. En el Cuadro 1 se muestran las especificaciones de dicho controlador.

Atributos	
Memoria	1.5 MB
Número de módulos de I/O MAX	30
Número de bancos I/O MAX	3
Consumo de corriente @5V DC	660mA
Consumo de corriente @24V DC	90 mA
Distancia de cobertura de fuente de poder	4 módulos
Disipación de potencia	5.5 W
Montaje del módulo	Riel DIN o empotrado
Puertos de comunicación	RS-232 Serial aislado 38.4 Kbps max y Ethernet 10/100 Base-T

Cuadro 1: Especificaciones del PLC 1769-L35E.

[11]



Figura 14: Controlador lógico programable Allen Bradley 1769-L35E.

6.2. Pantalla HMI Touch

La pantalla HMI fue solicitada para poder tener un ambiente reducido sin uno de una computadora y así tener acceso al sistema de una forma más industrial y simple. Dicha pantalla HMI se eligió de la marca Allen Bradley, el modelo PanelView Plus 7, serie 2711P-T7C21D8S. El terminal gráfico elegido cuenta con comunicación ethernet, memoria interna expandible y es táctil lo cual hace que sea más simple la interacción. En el Cuadro 2 se muestran los datos técnicos.

Atributos	
Memoria	512 MB de RAM 512 MB de almacenamiento 80MB para aplicaciones
Puertos comunicación	Puerto ethernet
Dimensiones de pantalla	6.5"
Alimentación	24 V corriente continua
Resolución	640x480 VGA, 18 bit gráficos a color

Cuadro 2: Especificaciones de terminal PanelView Plus 7.

[12]



Figura 15: Panel gráfico Allen Bradley PanelView Plus 7.

6.3. Módulo de entradas

Los módulos de entradas se eligieron según la necesidad en la aplicación con el proyecto. Para el banco de intercambiadores de calor y condensadores de vapor se necesitaron entradas analógicas como entradas/salidas digitales para la lectura de diversos dispositivos.

6.3.1. Módulo de entradas/salidas digitales

El módulo seleccionado para entradas y/o salidas digitales por parte de la familia “1769 Compact I/O Modules” es el 1769-IQ16 marca Allen Bradley. El módulo 1769-IQ16 cuenta con 16 entradas y/o salidas digitales de 24 voltios en corriente continua, las cuales pueden configurarse en software. La activación de cada salida o entrada es totalmente independiente. En el Cuadro 3 se pueden ver las especificaciones para las entradas.

Atributos	
Alimentación	0.5-5.5 V DC
Número de entradas	16
Distancia respecto a la fuente de alimentación	8
Alimentación	24 V DC
Impedancia nominal	3 Ω

Cuadro 3: Especificaciones del módulo de entradas analógicas 1769-IF8.

[13]



Figura 16: Módulo de E/S digitales Allen Bradley 1769-IQ16.

6.3.2. Módulo de entradas analógicas

El producto seleccionado por parte de la familia “1769 Compact I/O Modules” para cumplir con el requerimiento de entradas analógicas fue el 1769-IF8 marca Allen Bradley que cuenta con 8 entradas analógicas. Dicho dispositivo tiene como función principal convertir una señal de entrada analógica a digital utilizando el procesador interno. En el Cuadro 4 pueden ver las especificaciones para las entradas.

Atributos	
Rango de entrada	Rango MIN-MAX
1-5 V DC	0.5-5.5 V DC
0-5 V DC	-0.5-5.5 V DC
0-10 V DC	0.5-10.5 V DC
0-20 mA	0-21 mA
4-20 mA	3.2-21 mA

Cuadro 4: Especificaciones del módulo de entradas analógicas 1769-IF8.
[14]



Figura 17: Módulo de entradas analógicas Allen Bradley 1769-IF8.

6.3.3. Módulo de RTDs

Para los medidores de temperatura con resistencia variable se eligió el módulo 1769-IR6 de la familia “1769 Compact I/O Modules” de la marca Allen Bradley debido a que dicho módulo cuenta con seis entradas para RTDs las cuales convierten a digital la señal analógica que el RTD de tres hilos proporciona. Cada entrada RTD es individual y puede ser configurada individualmente. El módulo 1769-IR6 tiene la capacidad de leer la señal de

entrada, hacer la conversión al mismo tiempo linealizar la medición en °C o en °F. Es por esto que se eligió dicho módulo para la medición de temperaturas en todo el sistema. En el Cuadro 5 pueden ver las especificaciones para las entradas.

Atributos	
Alimentación	24V DC
Cantidad de entradas	6
Consumo de corriente	45mA
Compatibilidad de RTDs	Cobre (10Ω)
	Níquel 618 (120Ω)
	Níquel 672 (120Ω)
	Níquel-Hierro (604Ω)
	Platino 385 (100Ω, 200Ω, 500Ω, 1000Ω)
	Platino 3916 (100Ω, 200Ω, 500Ω, 1000Ω)

Cuadro 5: Especificaciones del módulo de RTDs 1769-IR6.
[15]



Figura 18: Módulo de RTDs Allen Bradley 1769-IR6.

6.4. Módulos de salidas

Los módulos de salidas fueron elegidos según la necesidad que el sistema tenía, en dicho caso se necesitaban salidas analógicas para ciertos dispositivos y salidas a relé. a continuación se detallan los módulos utilizados.

6.4.1. Módulo de salidas a relé

Para poder controlar las válvulas solenoides se decidió hacer uso del módulo de salidas a relé 1769-OW16 de la familia “1769 Compact I/O Modules” de la marca Allen Bradley. En dicho módulo se conectaron 16 válvulas y se necesitó hacer uso de otro módulo, pero con

menos capacidad el cual es el 1769-OW8I en el cual se conectaron 6 válvulas solenoides y las dos bombas centrífugas para el flujo del agua. Ambos cuentan con salidas a relé que pueden manejar AC o DC. Las características de muestran en la Cuadro 6.

Atributos	
Alimentación	5-125V DC
Cantidad de salidas	8 aisladas
Distancia de la fuente de voltaje	8 módulos
Consumo de corriente	125 mA a 5V DC 100 mA a 24V DC

Cuadro 6: Especificaciones del módulo de salidas a relé 1769-OW8I.
[16]



Figura 19: Módulo de salidas a relé Allen Bradley 1769-OW16.

6.4.2. Módulo de salidas analógicas

El módulo de salidas analógicas elegido tenía que cumplir con por lo menos 2 salidas analógicas que son para controlar las válvulas proporcionales. Por ello se escogió el 1769-OF4CI el cual cuenta con cuatro salidas analógicas, proporciona, en cada salida, un rango de voltaje de 0 a 10 voltios en corriente continua. En el Cuadro 7 se pueden ver las especificaciones de salidas.

Atributos	
Alimentación	24V DC
Cantidad de salidas	4 aisladas
Distancia de la fuente de voltaje	8 módulos
Consumo de corriente	140 mA

Cuadro 7: Especificaciones del módulo de salidas analógicas 1769-OF4CI.
[17]



Figura 20: Módulo de salidas analógicas Allen Bradley 1769-OF4CI.

6.5. Fuente de alimentación de expansión

La fuente de alimentación de expansión se debió de utilizar debido a que el PLC solo tiene capacidad para alimentar cuatro módulos y el sistema necesita 9 módulos por lo que se eligió la fuente 1769-PA2 de la familia “1769 Compact I/O Modules” de marca Allen Bradley. En el Cuadro 8 se muestran las especificaciones técnicas.

Atributos	
Rango de voltajes de entrada	85-265 V CA
Clasificación de distancia respecto a la fuente de alimentación	Se pueden conectar 8 módulos de E/S a cada lado teniendo como máximo 16 módulos.
Protección con fusible	SI
Consumo energético	100 VA a 120 VCA 130 VA a 240 VCA
Capacidad de corriente a 24 V	0.8 A

Cuadro 8: Especificaciones de la fuente de expansión 1769-PA2.

[18]



Figura 21: Fuente de alimentación entre módulos Allen Bradley 1769-PA2

6.6. Dispositivos de entradas y salidas

6.6.1. Rotámetro

El rotámetro o también llamado medidor de flujo de área variable fue seleccionado debido a que para la realización de las practicas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. El rotámetro elegido es óptimo para la aplicación debido a su gran adaptación en el área electrónica ya que cuenta con varias salidas analógicas. También se eligió con el diámetro de toda la tubería del sistema, soporta temperaturas altas y un flujo aceptable para dicha aplicación. En el Cuadro 9 se muestran las especificaciones del dispositivo.

Atributos	
Marca	Sure Flow
Serie	FlowMeter-Transmitter-HFS
Flujo Mín.	0.5 GPM
Flujo Max.	5 GPM
Presión Max.	6000 PSIG
Diámetro de la rosca	1/2"
Tipo de rosca	NPT
Posición de operación	No importa la posición
Materiales del dispositivo	Acero Inoxidable 304
Temp. Max	240°F
Señales de salida	4-20 mA
	0-5 V DC
	0-2000 HZ

Cuadro 9: Especificaciones del medidor de área variable - transmisor, marca Sure Flow.
[19]



Figura 22: Medidor de flujo de área variable-transmisor, marca Sure Flow.

6.6.2. Válvulas

Las válvulas se utilizaron principalmente porque así se da opción al usuario de poder usar cualquiera de los tres intercambiadores o los dos condensadores. Las válvulas utilizadas tienen diferentes especificaciones para poder cumplir con cada fluido y circunstancia, las válvulas son las siguientes.

Valvula Solenoide de agua caliente/vapor

La válvula solenoide para agua caliente-vapor fue utilizada debido a que dicha tubería viene del tanque de agua caliente y la temperatura va tan caliente que siempre pasa un poco en estado gaseoso. El asiento de la válvula es de etileno propileno (EDPM) y esto ayuda debido a que dicho material tiene un rango amplio de compatibilidad con diferentes fluidos. La válvula elegida es de marca Parker, de la serie Skinner y proporciona operación con un rango de temperatura de -10°F a 300°F . En el Cuadro 10 se muestran las especificaciones técnicas.

Atributos	
Marca	Parker
Serie	Skinner
Temp. Max.	210°F
Presión Max.	35 PSI
Diámetro de la rosca	1/2"
Tipo de rosca	NPT
No. Vias	2
Materiales del dispositivo	Bronce
Alimentación	24 V DC
Asiento	EDPM

Cuadro 10: Especificaciones de la válvula solenoide para agua caliente/vapor marca Parker.

[20]



Figura 23: Válvula Parker Skinner para agua caliente/vapor.

Válvula solenoide de agua fría

Las válvulas de agua fría que fueron elegidas son las mismas que para agua caliente y vapor con la única diferencia que tiene un rango mas bajo de temperatura. Las especificaciones se muestran en el Cuadro 11.

Atributos	
Marca	Parker
Serie	Skinner
Temp. Max.	185°F
Presión Max.	35 PSI
Diámetro de la rosca	1/2"
Tipo de rosca	NPT
No. Vias	2
Materiales del dispositivo	Bronce
Alimentación	24 V DC
Asiento	EDPM

Cuadro 11: Especificaciones de la válvula solenoide para agua fría de marca Parker.
[20]



Figura 24: Válvula Parker Skinner para agua fría.

Válvula proporcional

Las válvulas proporcionales se instalaron para controlar el caudal de flujo que pasara por todo el sistema, dichas válvulas proporcionales son controladas por medio de aire comprimido. Las válvulas son de marca ASCO las cuales son de las más comerciales a nivel industrial

y cuenta con especificaciones técnicas altas. En el Cuadro 12 se muestran las especificaciones técnicas.

Atributos	
Marca	ASCO
Serie	290/390
Temp. del fluido	0°C a +50°C
Presión Max.	16 bar
Diámetro de la rosca	1/2"
Tipo de rosca	NPT
No. Vías	2
Consumo de corriente	500 mA
Alimentación	24 V DC

Cuadro 12: Especificaciones de la válvula proporcional marca ASCO.
[21]



Figura 25: Válvula proporcional marca ASCO.

6.6.3. Sensores de temperatura RTD

Los medidores de temperatura de resistencia variable se eligieron conforme a su popularidad de uso en la industria y que fueran aptos para el sistema. Las RTDs elegidas fueron las PT 100 de tres hilos. El 100 en el nombre hace referencia a la resistencia que trae por dentro, la cual es una resistencia de 100 ohmios. La característica más importante de las PT 100 es que son fabricadas con platino, lo cual hace tenga mejor exactitud para la medición de temperatura.

Atributos	
Marca	Barber-Colman
Serie	Eurotherm
Resistencia	100 Ω
No. de cables	3
Diámetro de la rosca	1/2"
Tipo de rosca	NPT
Tipo de RTD	PT 100
Material	316 SS
Alimentación	24 V DC

Cuadro 13: Especificaciones del medidor de temperatura de resistencia variable.



Figura 26: RTD marca Barber-Colman.

6.6.4. Bomba de agua

Para el funcionamiento del sistema se tuvo que hacer uso de bombas centrífugas para empujar el agua de los tanques de almacenamiento. El proceso de intercambio de calor necesita el paso de un fluido caliente y un fluido frío por lo que se usaron dos bombas:

Bomba de agua caliente

Dicha bomba se eligió específicamente para agua caliente debido a que las bombas normales no soportan el paso a temperaturas altas por lo que se eligió esta bomba con un rodete de cobre el cual hace que el dispositivo sea idóneo para el manejo con agua caliente. También se buscó que la bomba contara con un motor monofásico. En el Cuadro 14 se muestran las especificaciones técnicas.

Atributos	
Marca	Sta-Rite
Serie	JHEX-63
Tipo de alimentación	Monofásica
Diámetro de entrada y salida	1"
RPM	3450
Material del rodete	Cobre
Alimentación	220 V AC

Cuadro 14: Especificaciones de bomba de agua marca Sta-Rite.
[22]



Figura 27: Bomba para agua caliente marca Sta-Rite

Bomba de agua fría

La bomba para agua fría es una bomba normal que pudiera generar un flujo de agua considerablemente alto para poderse controlar con válvulas proporcionales. El rodete de dicha bomba es un rodete corriente. En el Cuadro 15 se muestran las especificaciones técnicas de la bomba.

Atributos	
Marca	Sta-Rite
Serie	JHEX-63
Tipo de alimentación	Monofásica
Diámetro de entrada y salida	1"
RPM	3450
Material del rodete	Común
Alimentación	220 V AC

Cuadro 15: Especificaciones de bomba para agua marca Sta-Rite.
[23]

6.7. Dispositivos de potencia

Los dispositivos de potencia son de suma importancia para el control de cada sensor, motor, controlador, etc. A continuación, se encuentran los diversos dispositivos utilizados.

6.7.1. Fuente de alimentación general

La fuente de alimentación utilizada para la alimentación de todo el tablero es esencial para la alimentación de cada dispositivo, debido a que la energía proporcionada es de 110V y los dispositivos se deben de alimentar con 24V. en el Cuadro 16 se muestran las especificaciones técnicas.

Atributos	
Marca	Telemecanique
Serie	Phaseo ABL8
Modelo	ABL8RPS24100
Corriente de entrega	10A
Voltaje de entrega	24V DC
Protección	SI
Alimentación	100 a 120 /V AC

Cuadro 16: Especificaciones de la fuente de alimentación marca Telemecanique.

[24]



Figura 28: Fuente de alimentacion marca Telemecanique.

6.7.2. Guarda motores

El guardamotor es indispensable en toda aplicación de sistemas con motores debido a que el diseño de este dispositivo proporciona una curva de disparo el cual lo hace más robusto

para el arranque de motores, en este caso se tienen dos motores, uno en cada bomba. Los guardamotores que se instalaron son de capacidad nominal de 12 amperios.

6.7.3. Contactores

Los contactores son utilizados para interrumpir el paso de corriente en sistemas automotrices por lo que se utilizaron dos para las bombas centrífugas. Dichos contactores tienen una bobina de activación de 24V en corriente continua y soportan 12 amperios.

6.7.4. Relés de dos polos

Los relés de dos polos utilizados en este sistema son utilizados para activar los dispositivos finales que tienen un voltaje de 110V en corriente alterna y tienen una capacidad nominal de 12 amperios.

6.7.5. Seleccionador ON/OFF

Se eligió un seleccionador rotativo que soporta hasta 100 amperios, el cual tiene la capacidad de encender o apagar tanto la parte de potencia como la de control. Se muestra en la Figura 29.



Figura 29: Interruptor de encendido y apagado.

6.7.6. Borneras de conexión

Las borneras de conexión se instalaron para la conexión entre las salidas de control y las de potencia, tienen una capacidad de soportar amperajes suficientes tanto para señales de control (2 amperios) como para señales de potencia (6 amperios).

6.7.7. Borneras de protección

Las borneras de protección se utilizaron para proteger cada señal conectada al controlador para evitar que lleguen sobrecargas o corto circuitos al controlador. Dicha protección se hizo gracias a fusibles que tienen la capacidad de 1 hasta 6 amperios. El fusible nos ayuda a proteger el sistema con un filamento que al superar un valor que pueda dañar los componentes.

Diagrama eléctrico de la parte de potencia del sistema

Todos los dispositivos que se seleccionaron para activar los elementos principales del sistema fueron elegidos según la capacidad que fuera a absorber todo el sistema. El selector principal, el cual arranca todo el sistema es un selector rotativo y cuenta con una capacidad de 100 A. Los siguientes elementos son los guardamotores, contactores, bombas de agua, controladores y fuentes de voltaje.

En la Figura 30 se puede observar la distribución de líneas de voltaje para cada uno de los grupos de componentes. Se puede observar que el sistema se dividió en tres grupos: bomba para agua caliente, bomba para agua fría y controlador y demás equipo. Esto fue debido a que los motores demandan una corriente muy alta y por ello se decidió dejarlas por aparte a cada una de ellas y así evitar sobrecargas.

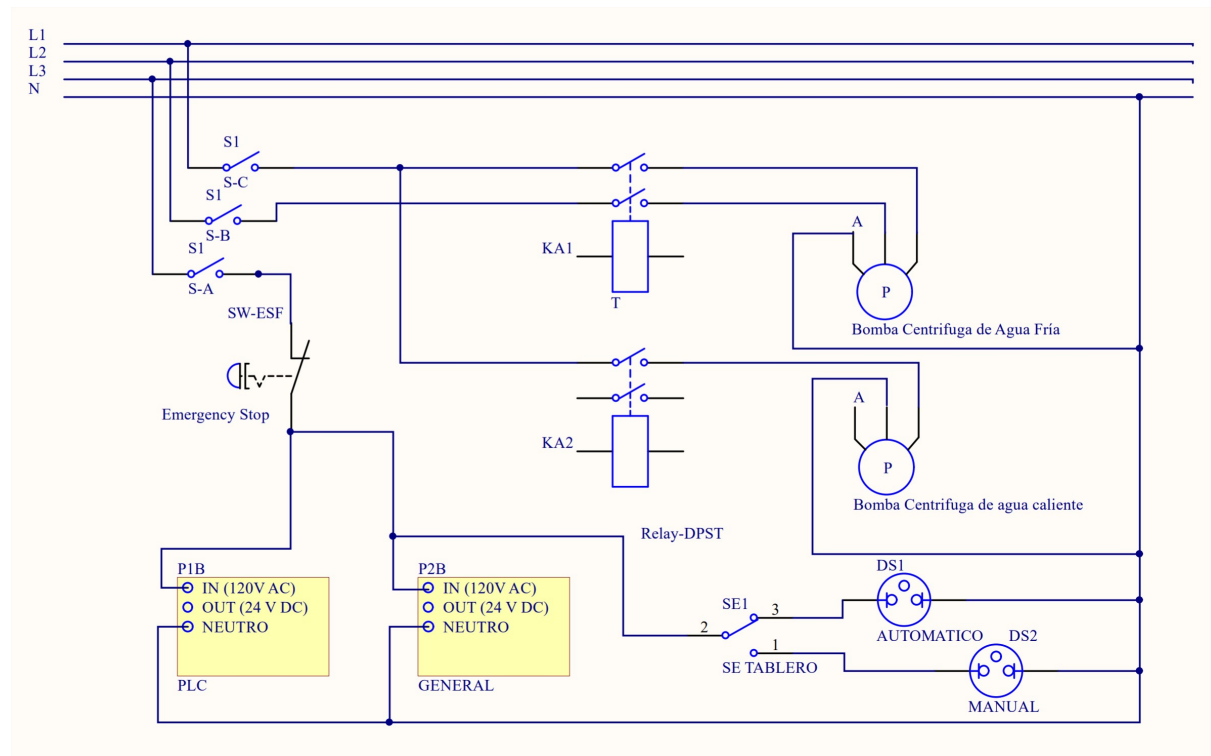


Figura 30: Circuito de potencia utilizado en el sistema a automatizar.

Diagrama eléctrico de la parte de control del sistema

Los dispositivos de control son todos aquellos que actúan únicamente en el control del sistema y ellos son: sensores, controlador, medidores de flujo, medidores de temperatura y módulos. En la Figura 31 se pueden observar las conexiones que se hicieron hacia cada módulo del controlador. Cada dispositivo contaba con salidas y entradas (alimentación, tierra y algunos señal. en el Cuadro 17 se especifica la cantidad de conectores y dispositivos que se instalaron. En el diagrama eléctrico de la parte de control únicamente se hizo uso de una alimentación de 24 V en corriente continua, esto debido a que era lo especificado al inicio del proyecto para no tener ningún inconveniente.

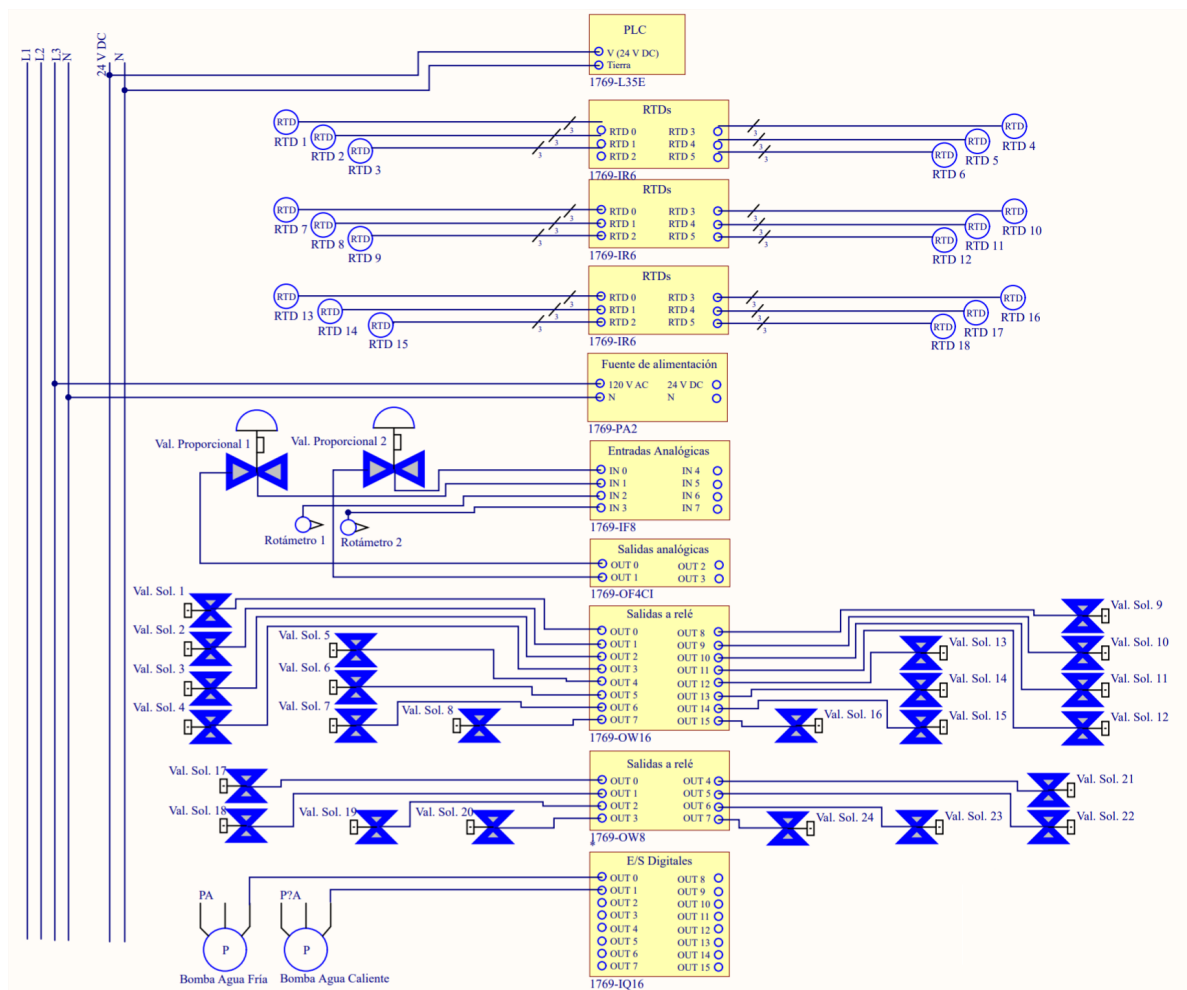


Figura 31: Diagrama de señales de control.

Dispositivos	No. de terminales	No. de dispositivos	Total de terminales
RTDs	3	22	66
Medidor de Flujo Variable	3	2	6
Bomba STA-RITE	3	2	6
Válvula Solenoide	2	23	46
Válvula Proporcional	3	2	6

Cuadro 17: Número de terminales por dispositivo que van al panel.

El código de colores que se siguió para el cableado eléctrico se detalla en el siguiente cuadro.

Color	Descripción
Rojo	24V DC
Amarillo	120V DC
Negro	Neutro
Azul	Señales de control

Cuadro 18: Código de colores del sistema.

Diagrama de tuberías e instrumentación (PID)

El diagrama de tuberías e instrumentación se obtuvo del funcionamiento del flujo del agua del sistema establecido luego de indagar sobre las necesidades de operación del sistema deseadas por las autoridades del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. En dicho diagrama se tomaron en cuenta las variables necesarias a saber para poder controlar el proceso de intercambio de calor y el de condensación de vapor.

El proceso se conforma de dos partes:

- Proceso de intercambio de calor: en dicho proceso forman parte el intercambiador de concha y tubos, intercambiador de placas e intercambiador de tubos concéntricos.
- Proceso de condensación de vapor: para este proceso se hace uso de el condensador de vapor de un tubo y el condensador de vapor de 5 tubos.

En todo el proceso se hizo uso de H₂O en diferentes fases. Se utilizó agua fría, agua caliente, vapor de agua y vapor de agua condensado. La utilización de agua en diferentes fases fue para poder tener un sistema autónomo y un producto fácil de manejar para estudiantes.

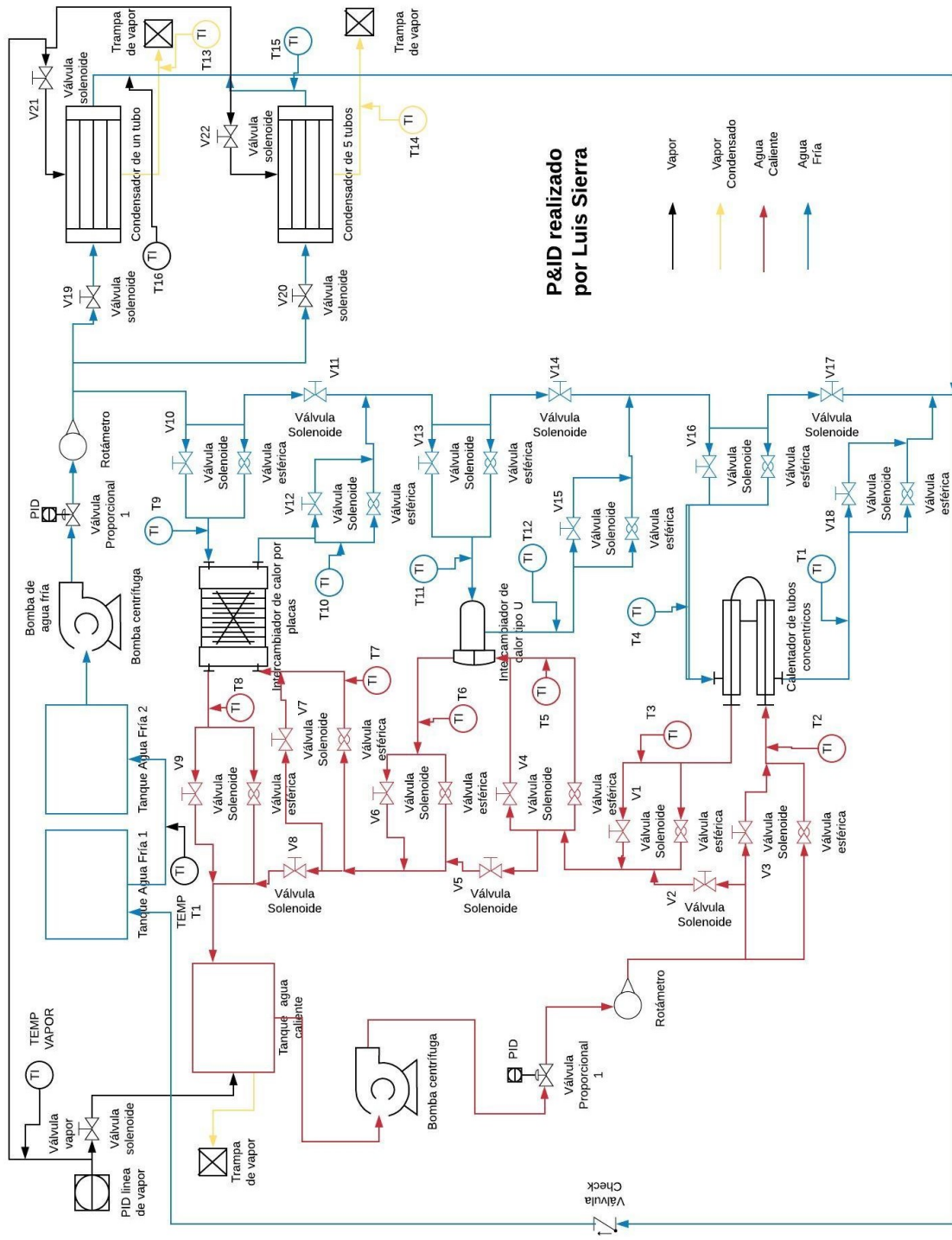


Figura 32: Diagrama de tuberías e instrumentación (PID).

A continuación, se presentan los resultados según se fue construyendo el trabajo. También se muestra la implementación física de cada etapa. Para poder tener los objetivos se siguieron pasos planteados al inicio del montaje de todo el sistema. Primero se preparó la estructura, luego se instalaron los tanques, intercambiadores, condensadores, válvulas, tubería y demás accesorios; luego se procedió a hacerla instalación de la parte de control y finalmente la programación del control del sistema.

7.1. Preparación de la estructura

En dicha etapa se preparo la estructura y se le dio mantenimiento debido a que la estructura contaba con lastimaduras y por ende la pintura se estaba cayendo. En la Figura 33 se muestra la estructura metálica que se preparó.



Figura 33: Preparación de la estructura.

7.2. Montaje de equipo

En la etapa del montaje del equipo de tuberías se procedió a montar los tanques, válvulas manuales, válvulas solenoides, válvulas proporcionales, trampas de vapor, medidores de presión, medidores de flujo de área variable, RTDs, tuberías, accesorios, bombas de agua, intercambiadores y condensadores. En las figuras se muestran el proceso del montaje del equipo.



Figura 34: Montaje de los tanques.



Figura 35: Montaje del intercambiador de calor de concha y tubos.



Figura 36: Montaje del intercambiador de calor de tubos concéntricos.

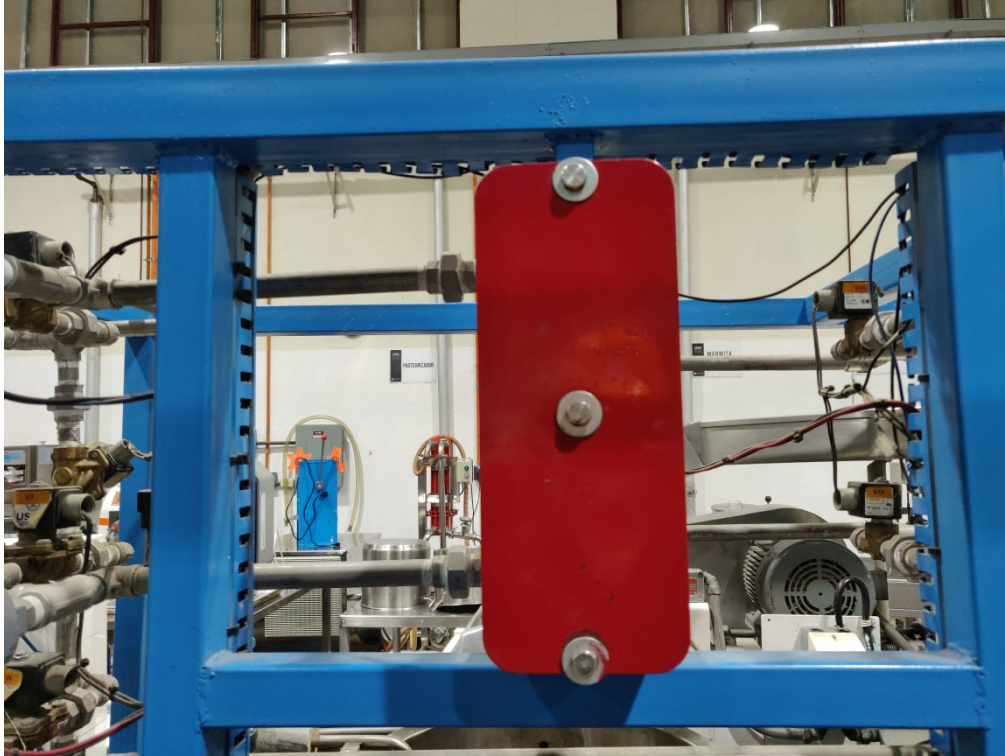


Figura 37: Montaje del intercambiador de calor de placas



Figura 38: Montaje de las trampas de vapor.



Figura 39: Montaje de los medidores de flujo variable.



Figura 40: Montaje de las válvulas de vapor marca Parker.

7.3. Condensadores de vapor instalados

Para el montaje de los condensadores de vapor se decidió modificar su ubicación para poder tener espacio en la estructura y tener un espacio mejor aprovechado. Los condensadores de vapor instalados fueron: un condensador de un tubo y un condensador de cinco tubos con sus respectiva capa de metal protectora.



Figura 41: Montaje de los dos condensadores de vapor instalados.

7.4. Intercambiadores de calor instalados

Los intercambiadores de calor instalados fueron: intercambiador de concha y tubos, intercambiador de placas e intercambiador de tubos concéntricos. Dicha instalación se realizó en serie para poder tener un mejor aprovechamiento de espacio y una mejor eficiencia en el proceso de intercambio de calor. En la Figura 42 se muestran los intercambiadores de calor instalados.



Figura 42: Montaje de los tres intercambiadores de calor instalados.

7.5. Panel instalado

Se decidió colocar el panel nuevo en la parte superior de los condensadores por lo que se debió mover unos centímetros hacia abajo los dos condensadores para un mejor aprovechamiento del espacio. La ubicación a su vez era óptima para el manejo del equipo debido a que quedaba a centímetros del proceso para una mejor visualización.



Figura 43: Montaje del panel nuevo con sus respectivos dispositivos instalados (Exterior).



Figura 44: Montaje del panel nuevo con sus respectivos dispositivos instalados (Interior).

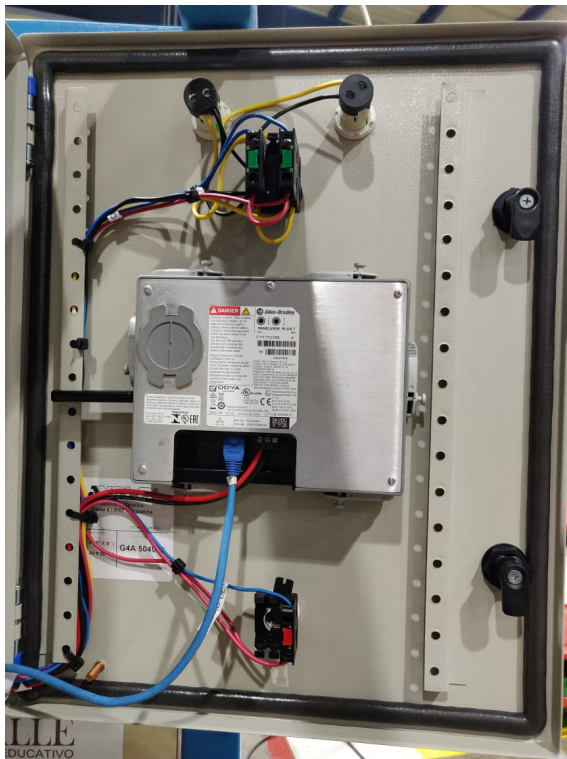


Figura 45: Montaje del panel nuevo con sus respectivos dispositivos instalados (Interior puerta).

7.6. Seleccionador principal instalado

El seleccionador principal se colocó al costado izquierdo del panel nuevo para que se pudiera acceder fácilmente a él. Dicho interruptor tiene la función de interrumpir la alimentación de todo el equipo y tiene la capacidad de conducción de hasta 100 amperios. En la figura se muestra la instalación de dicho interruptor.

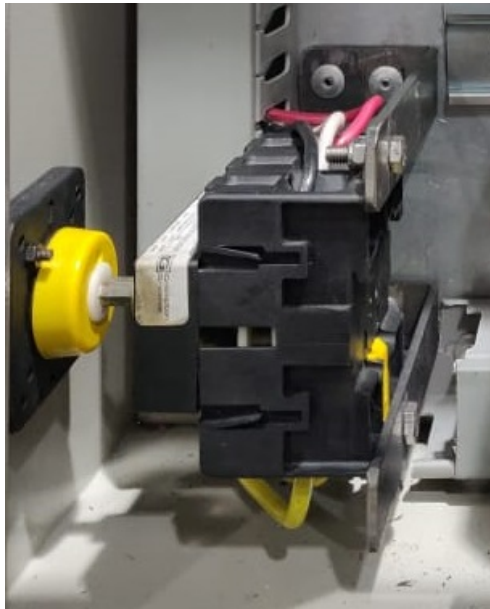


Figura 46: Instalación interna del seleccionador principal.



Figura 47: Instalación externa del seleccionador principal.

7.7. Switches principales del panel

Los switches del panel fueron instalados tienen la función de darle al usuario la opción de realizar el proceso de intercambio de calor o condensación de vapor de forma manual o automática. Dicho seleccionador cuenta con dos luces las cuales muestran el modo de funcionamiento que esté activo. En la Figura 48 se muestra el seleccionador con ambas luces instaladas.

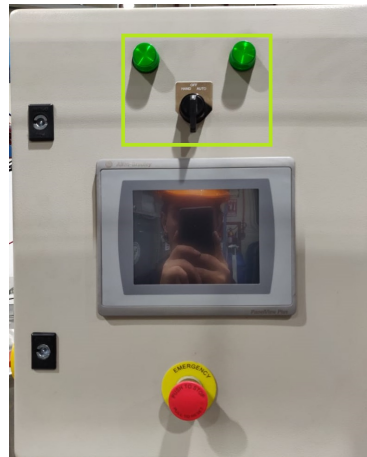


Figura 48: Instalación de switches e indicadores en la compuerta del panel de control.

7.8. Botón de paro de emergencia

Dicho boton fue instalado en la parte frontal del panel debido a que es el botón más importante en cualquier máquina industrial y debe de estar al alcance de cualquiera. En la Figura 49 se muestra la instalación de dicho botón.

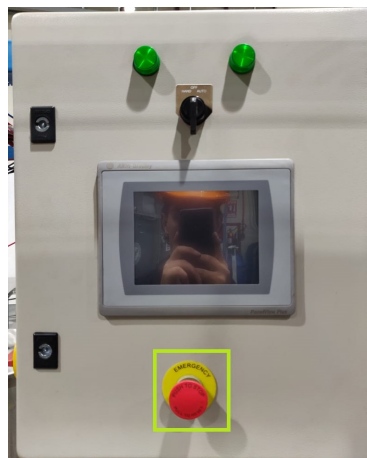


Figura 49: Instalación del botón de paro de emergencia.

7.9. Fuente de alimentación instalada

La fuente de alimentación instalada tiene la función de convertir los 110 V en corriente alterna a 24 V en corriente continua. Dicha fuente importante ya que a partir de este punto todos los dispositivos hacen uso de dicha alimentación (exceptuando las bombas de agua).



Figura 50: Instalación de la fuente de alimentación.

7.10. PLC instalado

El PLC instalado se muestra en la Figura 51.

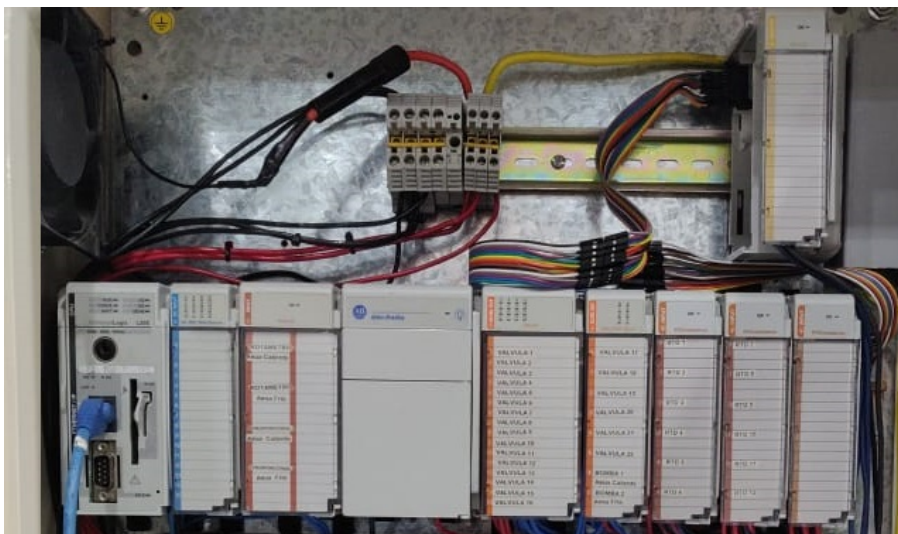


Figura 51: Instalación del PLC.

7.11. Módulos instalados

Los módulos fueron estratégicamente instalados debido a que eran más módulos que los que cabían en el panel por lo que se realizó un bus de datos para poder conectar más módulos en la parte superior del rack. En la Figura 52 se muestra la instalación de los módulos al lado del PLC.

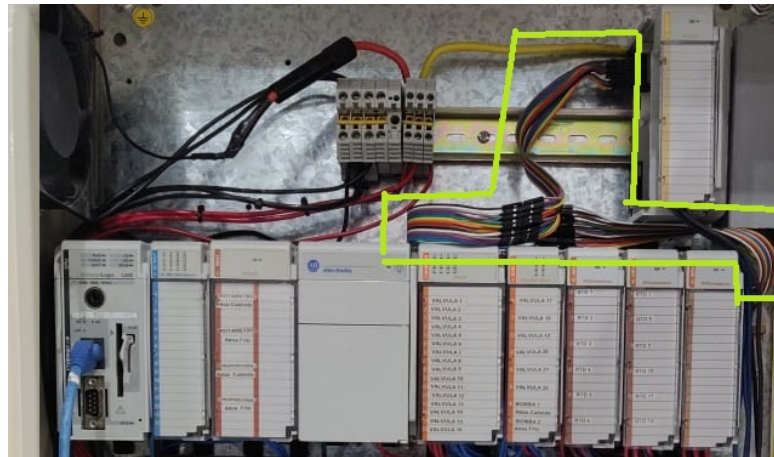


Figura 52: Instalación del bus de datos que conecta el rack 1 con el rack 2

7.12. Guardamotores instalados

Los dos guardamotores instalados se pueden observar en la Figura 53. Y fueron instalados en un espacio en el cual se pudiera comunicar fácilmente con los contactores para no tener cableado excesivo.



Figura 53: Instalación de los dos guardamotores.

7.13. Contactores instalados

Los contactores se instalaron en la parte inferior de los guardamotores para optimización de recursos y de espacio. En la Figura 54 se muestra la instalación de dichos dispositivos.



Figura 54: Instalación de los contactores.

7.14. Borneras de conexión instaladas

Las borneras de conexión se instalaron justo después de los módulos debido a que son la penúltima parte de conexión dentro del panel. En la Figura 55 se muestra la instalación.

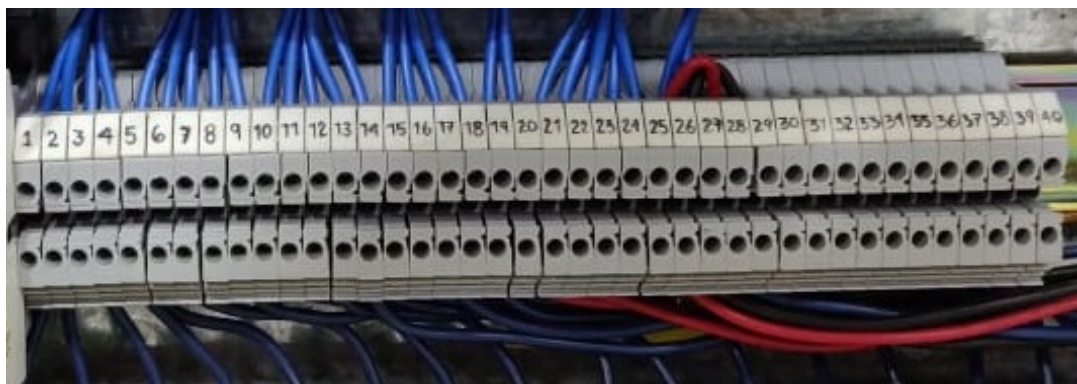


Figura 55: Instalación de las borneras de conexión.

7.15. Borneras de protección instaladas

Para las borneras de protección se diseñó una instalación previa a la salida del panel, debido a que dichas borneras son la última etapa de conexión dentro del panel de control. En la figura se muestra la instalación con sus respectivos fusibles.



Figura 56: Instalación de las borneras de protección con fusibles.

7.16. Pantalla instalada

La pantalla se instaló en la puerta del panel debido a que es la mejor forma de optimizar espacio y también es la mejor ubicación para que los usuarios interactúen con el sistema. En la figura se muestra la instalación de la misma.



Figura 57: Instalación de la pantalla HMI Touch (exterior).



Figura 58: Instalación de la pantalla HMI Touch (interior).

7.17. Interfaz humano máquina

La interfaz realizada para el control del sistema y fuera compatible con la pantalla PanelView Plus 7, se realizó con ayuda del programa FactoryTalk View Studio de la marca Allen Bradley. En la interfaz se programaron nueve pantallas las cuales tienen diferentes funciones.

7.17.1. Main

La pantalla Main es la pantalla inicial, la cual introduce al usuario al sistema de intercambiadores de calor y condensadores de vapor. En dicha pantalla el usuario puede elegir trabajar con cualquiera de los tres intercambiadores de calor, cualquier condensador de vapor e incluso trabajar con los tres intercambiadores de calor en serie.

7.17.2. Placas

En la pantalla Placas el usuario puede monitorear caudal, monitorear temperaturas de entrada y de salida, monitorear nivel, ingresar temperatura Set Point, modificar el caudal, e iniciar o parar el modo Intercambiador de Placas.

7.17.3. Tubos concéntricos

En la pantalla Tubos concentricos el usuario puede monitorear caudal, monitorear temperaturas de entrada y de salida, monitorear nivel, ingresar temperatura Set Point, modificar el caudal, e iniciar o parar el modo Intercambiador de Tubos Concéntricos.

7.17.4. ConchaYTubos

En la pantalla ConchaYTubos el usuario puede monitorear caudal, monitorear temperaturas de entrada y de salida, monitorear nivel, ingresar temperatura Set Point, modificar el caudal, e iniciar o parar el modo Intercambiador de Concha Y Tubos.

7.17.5. Condensador1

En la pantalla Condensador1 el usuario puede monitorear caudal, monitorear temperaturas de entrada y de salida, monitorear nivel, modificar el caudal, e iniciar o parar el modo Condensador de un Tubo.

7.17.6. Condensador5

En la pantalla Condensador5 el usuario puede monitorear caudal, monitorear temperaturas de entrada y de salida, monitorear nivel, modificar el caudal, e iniciar o parar el modo Condensador de cinco Tubos.

7.17.7. Flujos

En la pantalla Flujos el usuario puede controlar la apertura de la válvula proporcional del agua caliente y del agua fría.

7.17.8. Flujo

En la pantalla Flujo el usuario puede controlar la apertura de la válvula proporcional del agua fría, se tuvo que realizar una pantalla diferente debido a que con los dos condensadores no se utiliza agua caliente.

7.17.9. Variables

En la pantalla Variables se puede controlar todas las variables del sistema para verificar el funcionamiento de las mismas.

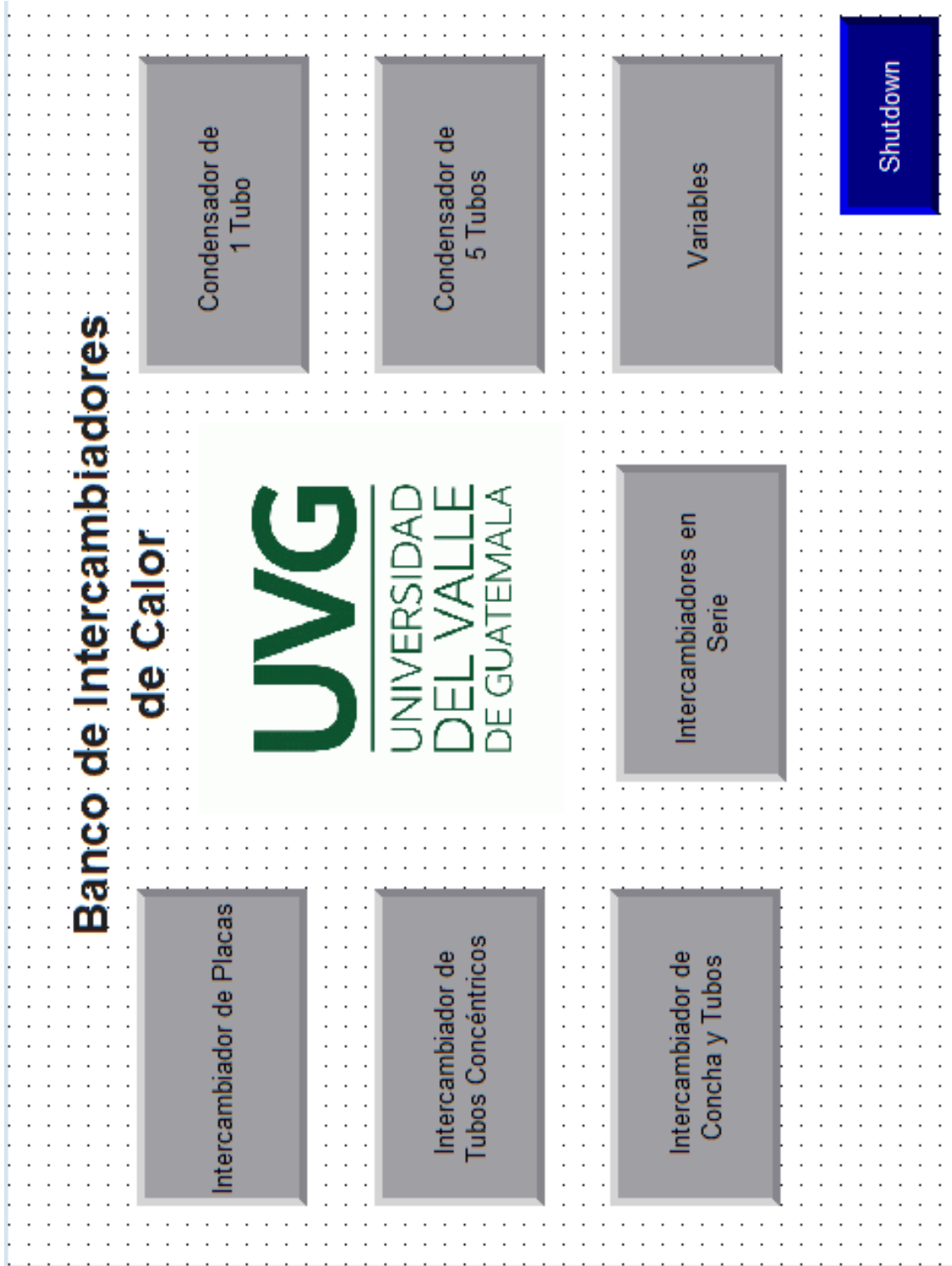


Figura 59: Pantalla Main

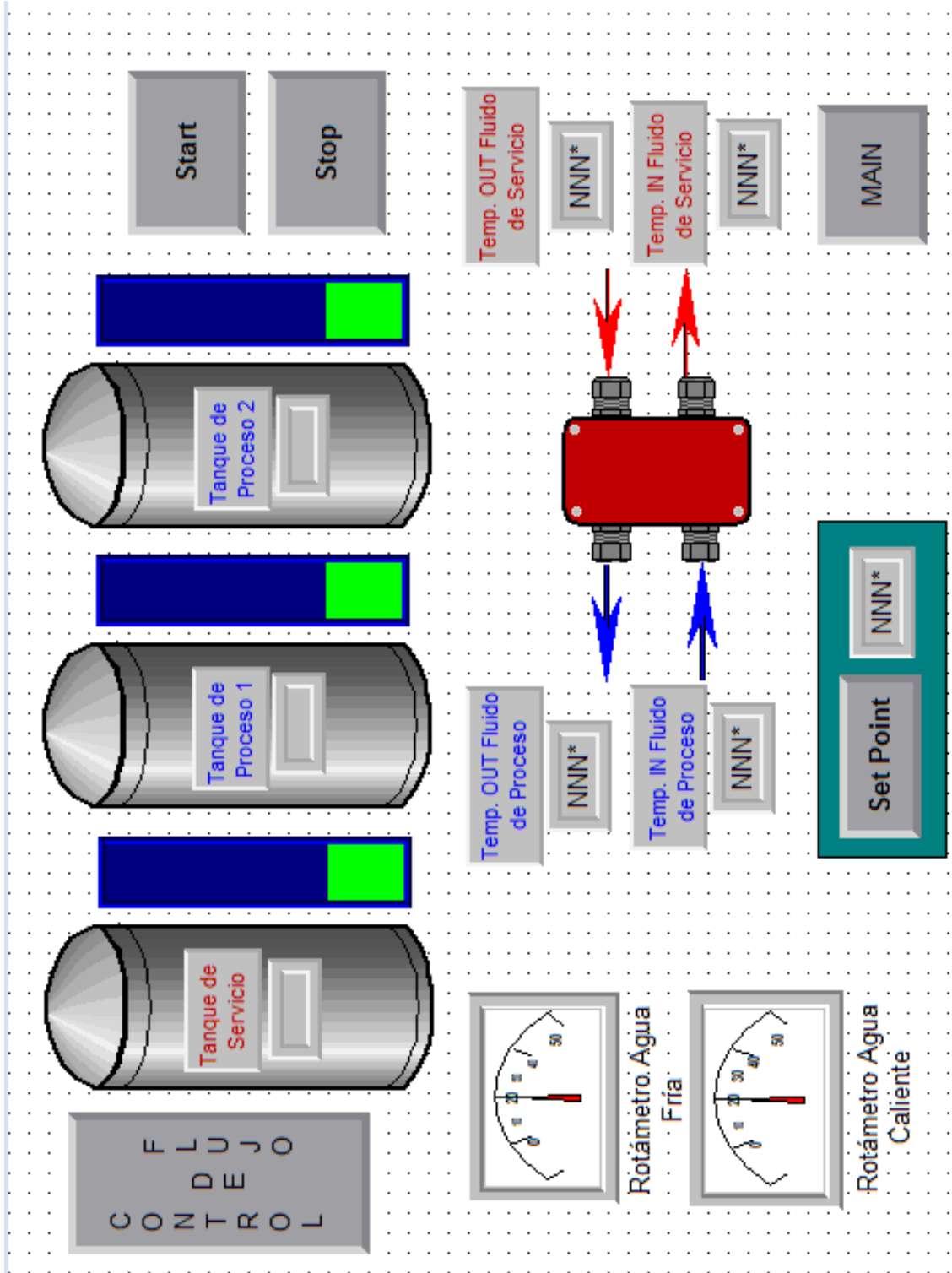


Figura 60: Pantalla placas.

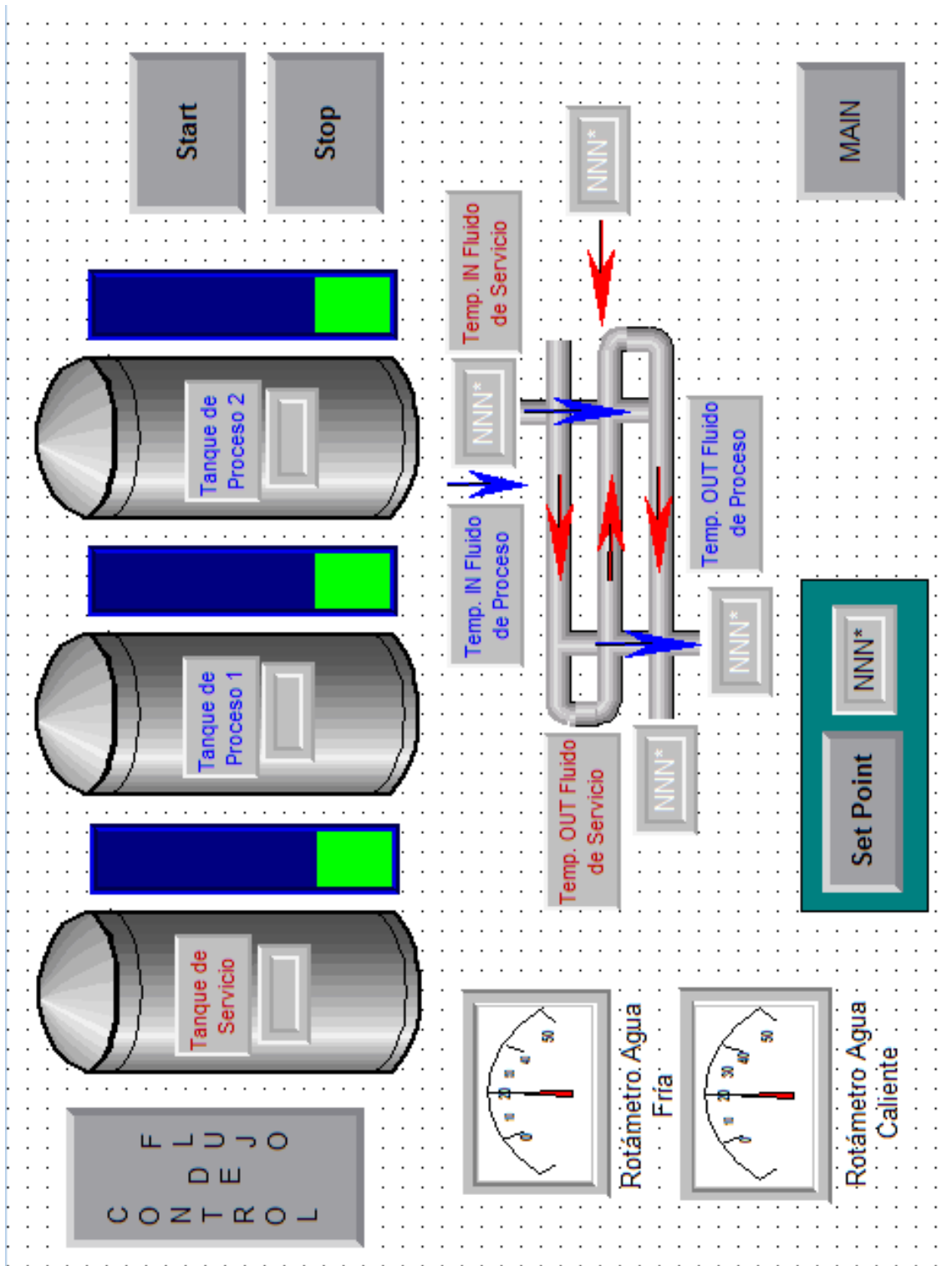


Figura 61: Pantalla tubos concéntricos.

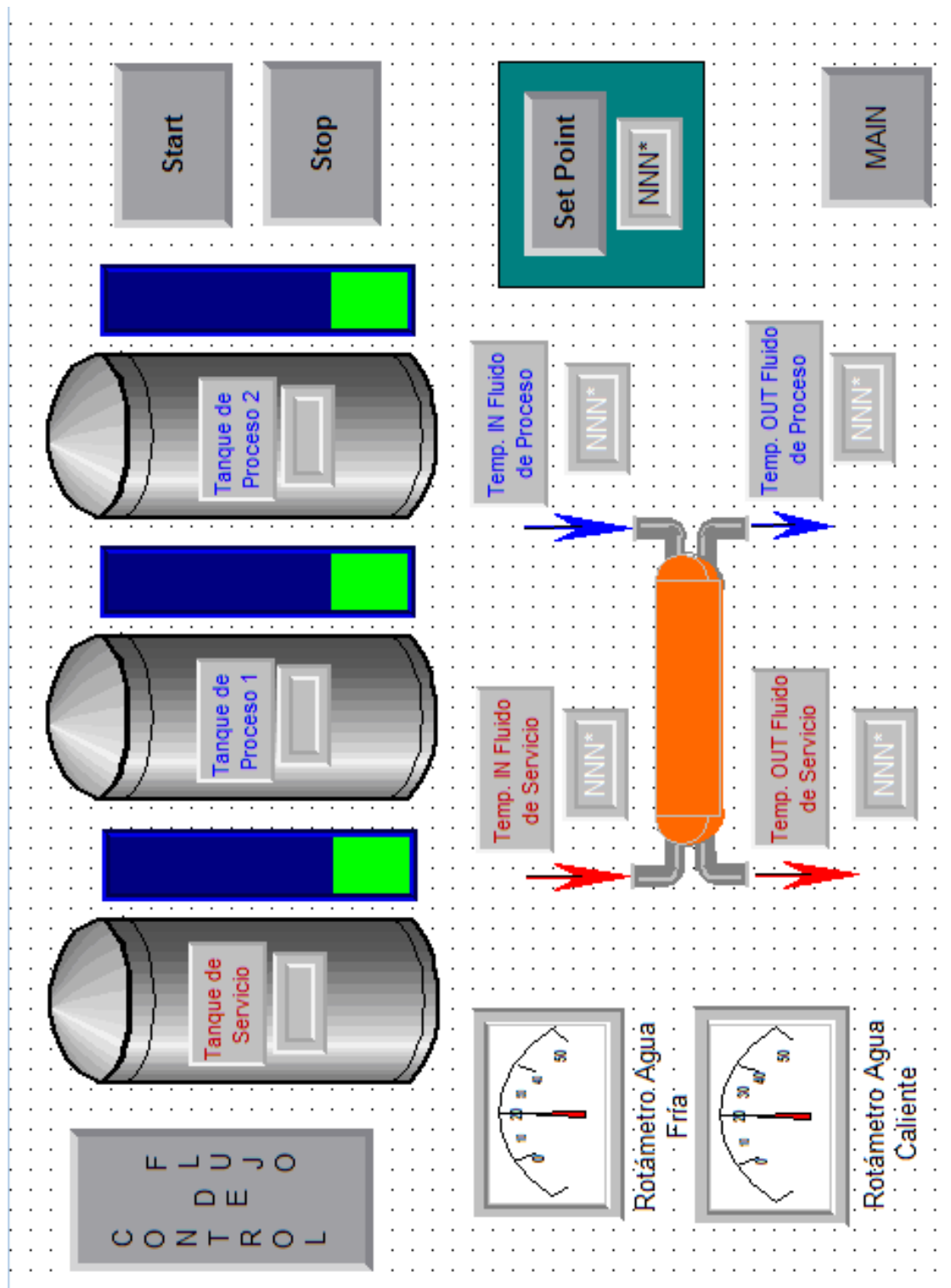


Figura 62: Pantalla ConchaYTubos.

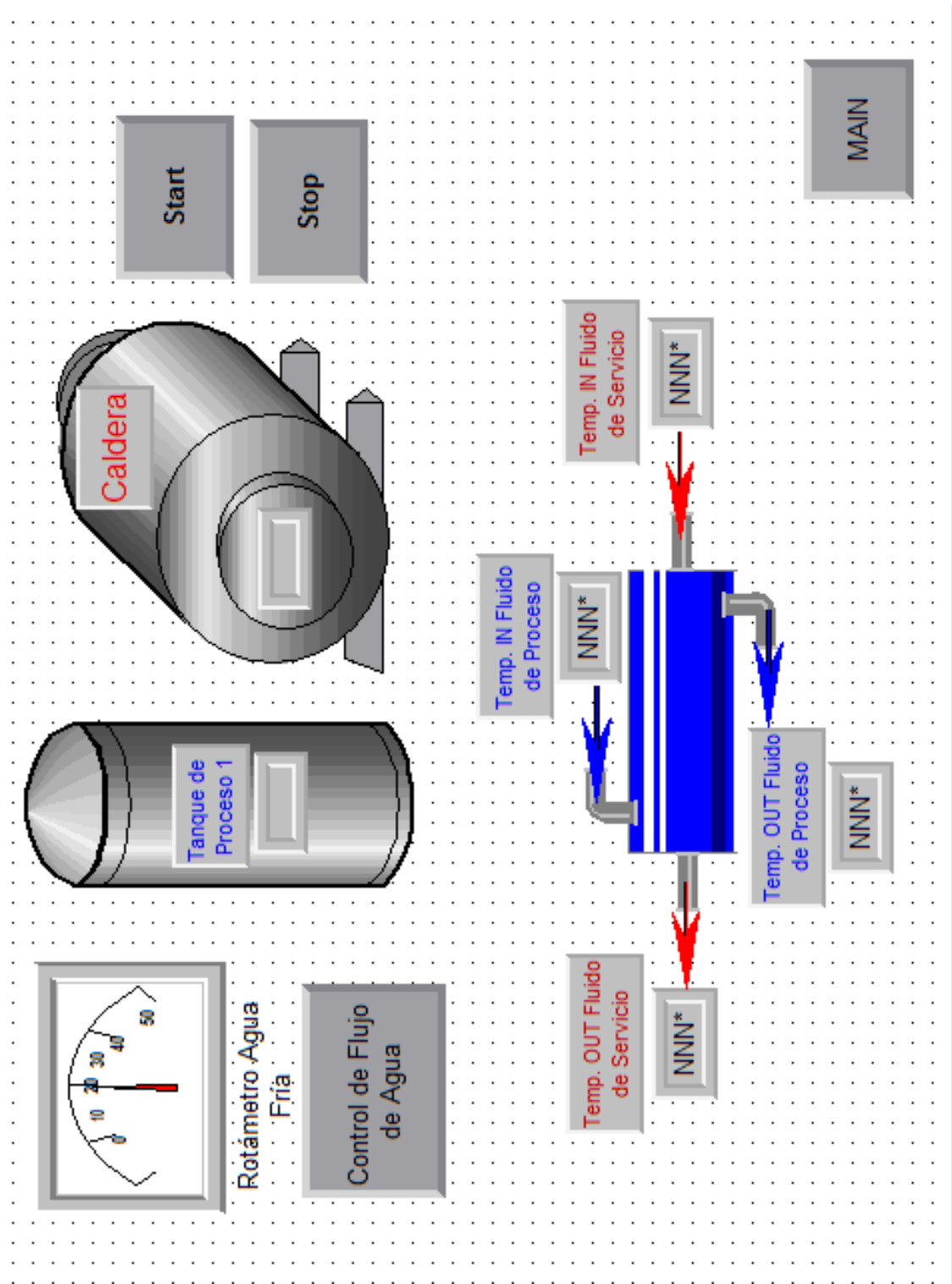


Figura 63: Pantalla condensadores1.

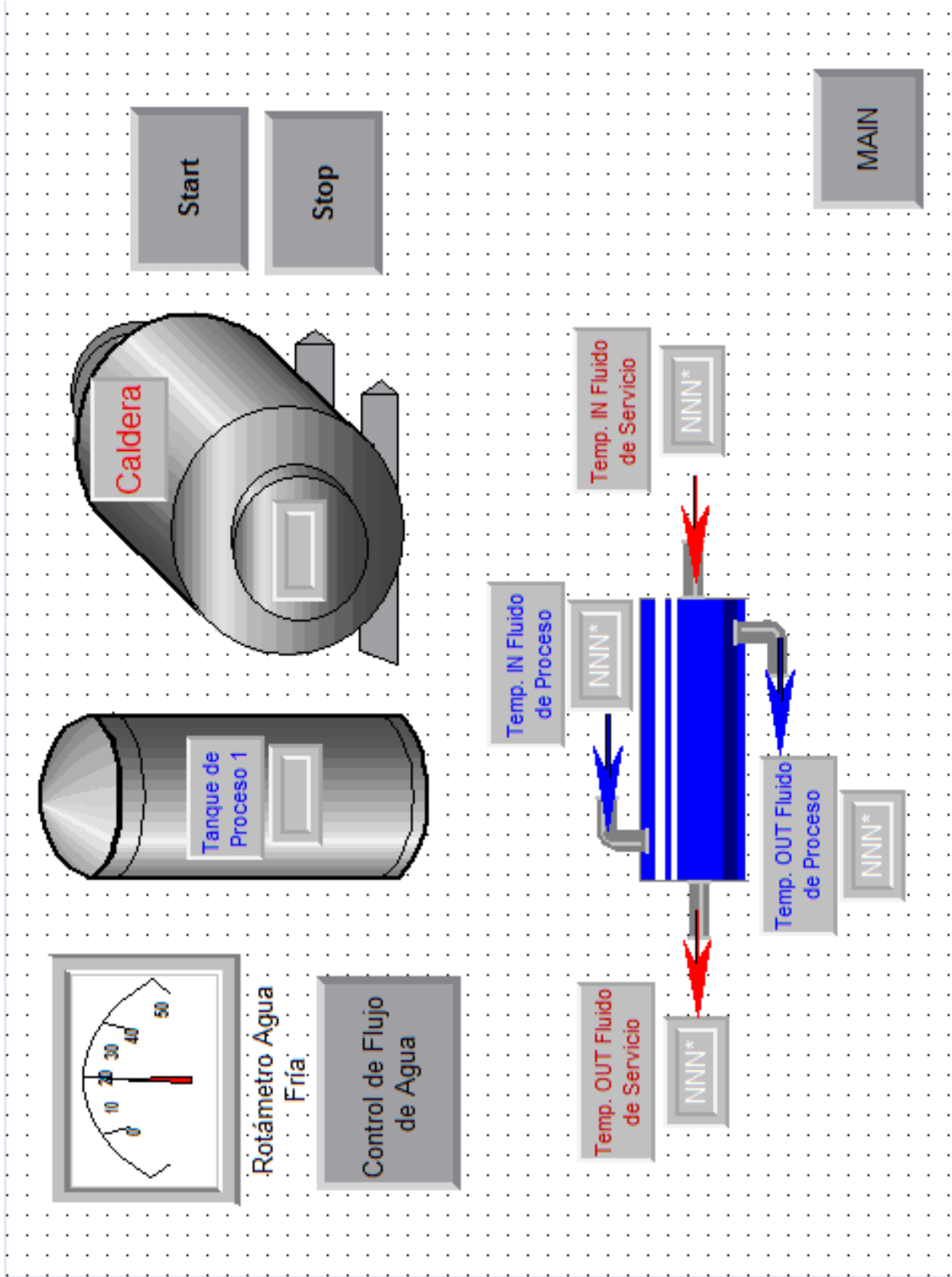


Figura 64: Pantalla condensadores5.

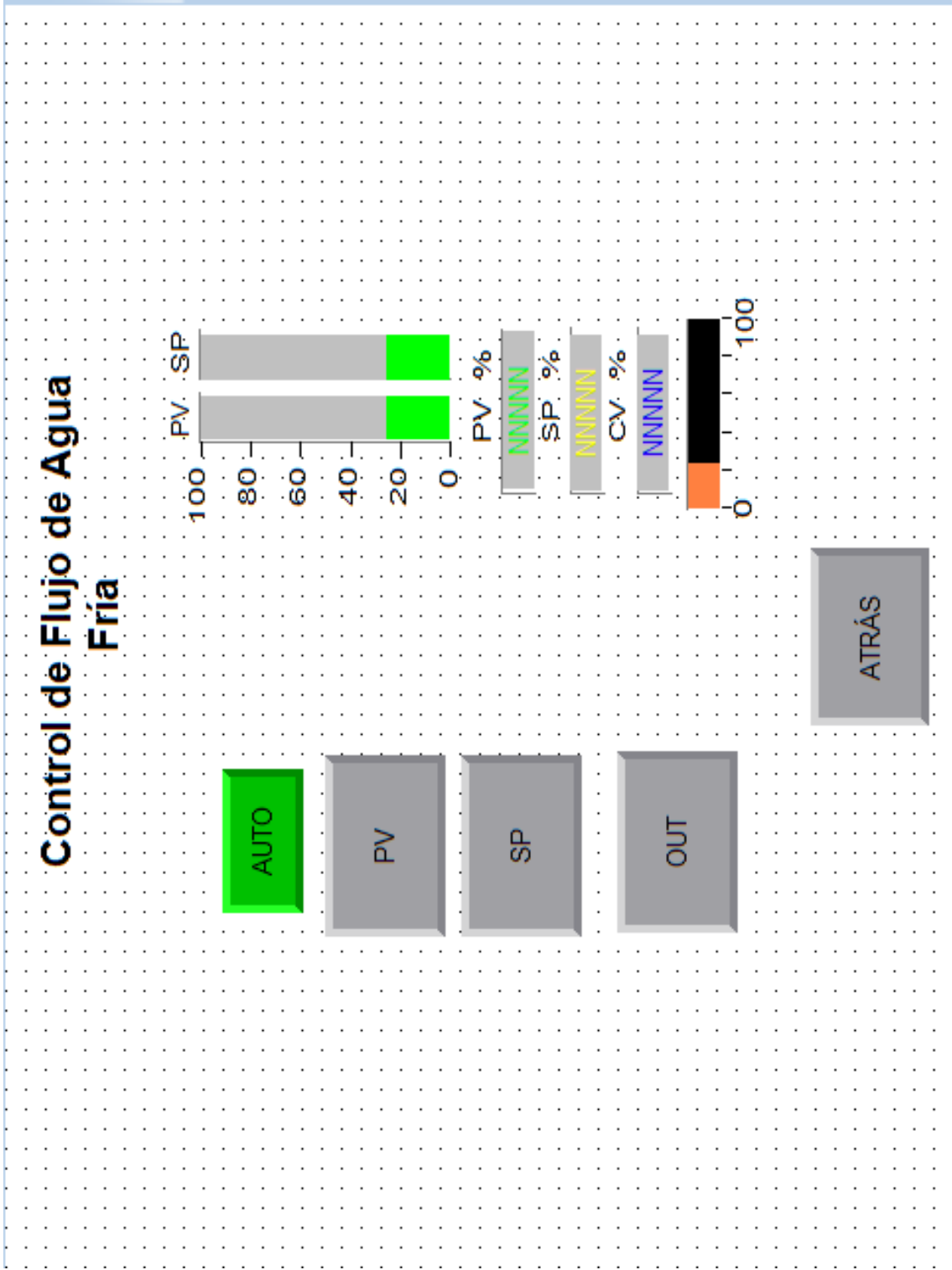


Figura 65: Pantalla flujo.

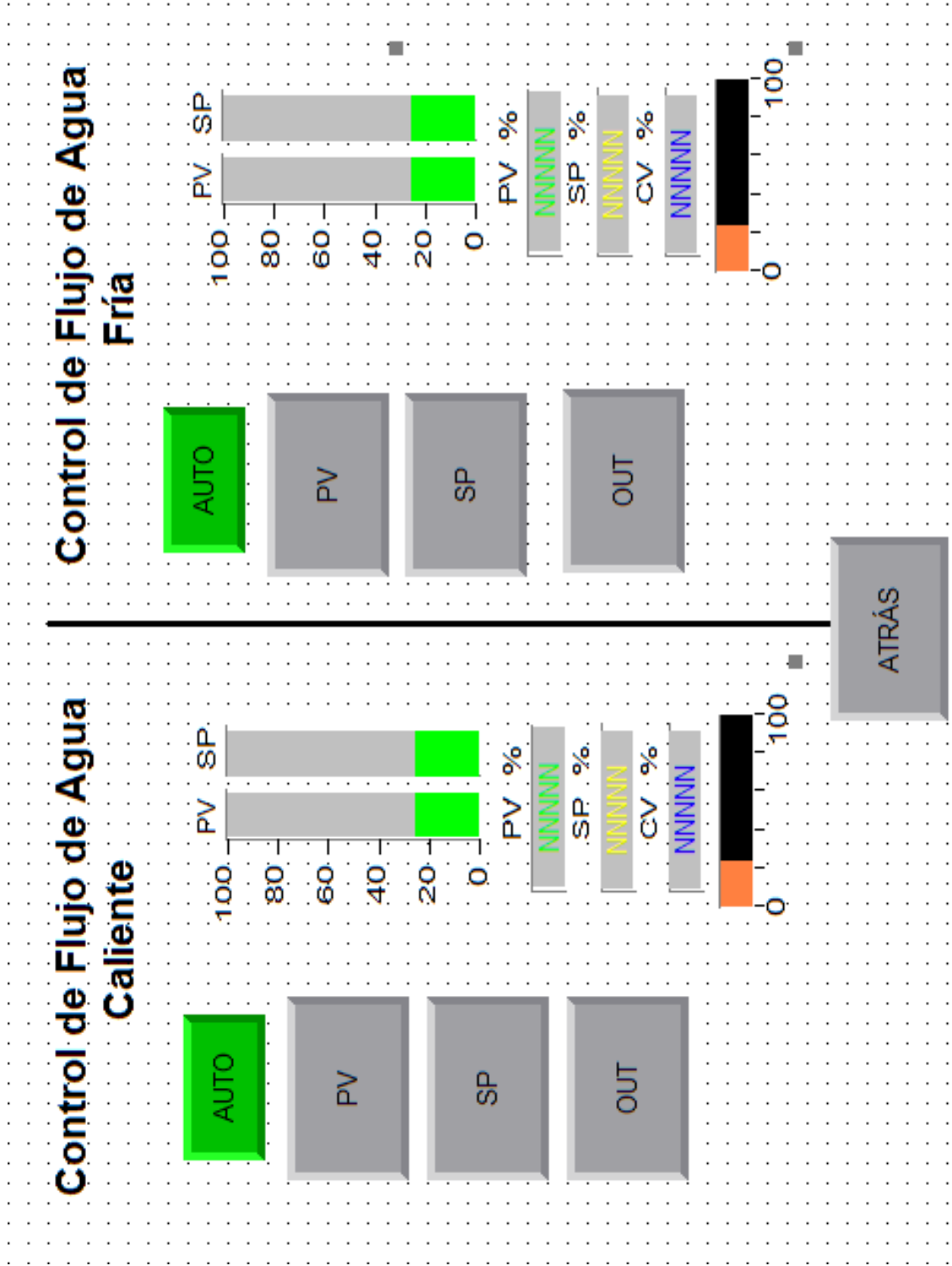


Figura 66: Pantalla flujos.

La estructura dimensionada con las medidas de 2.55m x 1.70m x 1.3m fue desmontada para poder realizar una limpieza de suciedad y oxido para luego proceder con una nueva pintada de la estructura. Se colocaron ruedas en la parte inferior para que fuera fácil la movilidad de la estación. El hierro utilizado para la estructura es de tubo cuadrado de cuatro pulgadas, pero con soportes para el equipo variable entre una y dos pulgadas. También se retiraron las estructuras que estaban para la computadora, pantallas y teclado-ratón.

La tubería utilizada para el flujo del agua por medio de todo el sistema fue elegida de acero inoxidable de media pulgada. Esta decisión fue por parte del departamento de ingeniería química de la Universidad del Valle de Guatemala. Dicha selección se hizo debido a que con acero inoxidable se evita que se cree óxido y haya futuras fugas. La sección de los condensadores se modificó debido a que se debía instalar el panel en un porcentaje de esa área. Luego se removió todo el teflón utilizado anteriormente y se actualizó. Con lo realizado se optimizó espacio y se prolongó el tiempo de vida del funcionamiento del sistema. La tubería utilizada para el flujo de vapor por el sistema fue de hierro negro de media pulgada, esto debido a requerimientos del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala. La tubería de vapor sirve para el vapor que para por los condensadores de vapor y también para alimentar el serpentín de vapor que calienta el agua que entra a los intercambiadores de calor. La tubería de vapor fue protegida de choques térmicos con cañuela de media pulgada. La cañuela no solo sirve para proteger la tubería sino también para evitar la pérdida de calor.

Las bombas centrífugas marca Sta-Rite cuentan con un caudal máximo de operación de 18 galones por minuto, debido a todos los dispositivos conectados de llega a tener una caída de presión de 9 galones por minuto y con ayuda de las válvulas proporcionales llegamos a tener un flujo de 5 galones por minuto lo cual es ideal para los medidores de flujo instalados.

Las válvulas proporcionales instaladas soportan tanto agua fría como agua caliente. Cabe

mencionar que se debió cambiar la válvula proporcional de agua fría debido a que la instalada originalmente tuvo una falla eléctrica y contaba con una fuga con la entrada de aire comprimido. Las válvulas proporcionales se instalaron a un metro de distancia como mínimo para así evitar turbulencia con el fluido. Debido a que cada válvula proporcional trabaja con aire comprimido se modificó la entrada de aire comprimido debido a que originalmente estaba en la parte frontal de la estructura lo cual era un mal diseño debido a que a la hora de manipular el sistema se tenía en los pies las mangueras, por lo que se optó por ponerla en el lado izquierdo de la estructura con una válvula de esfera y luego un medidor de presión de seguridad.

Para poder tener una medida del flujo en los dispositivos se colocaron los medidores de flujo de área variable justo después de las válvulas proporcionales dejando una medida de cuatro veces el diámetro como recomendación del fabricante para evitar de igual forma la turbulencia en el fluido. La decisión se tomó para optimizar recursos y no instalar un medidor de flujo de área variable por cada dispositivo.

Para el montaje de las válvulas solenoides se colocaron en un circuito llamado bypass debido a que de esta manera se podía seleccionar modo manual o automático. Para el modo manual se colocaron válvulas de esfera las cuales son las ideales para un control manual más rápido y por ende más eficiente. El circuito que se armó para los condensadores ayuda a que se puedan utilizar todos los intercambiadores de calor en serie.

En cuanto al panel de control se llegó a tomar la decisión de modificarlo debido a que contaba con muy poco espacio para futuras expansiones y todo se encontraba comprimido, por lo que se decidió colocar otro panel al lado que contuviera la etapa de potencia y así librar toda la parte superior del primer panel. También se movieron todos los controles del panel para así tener todos los controles en un mismo lugar. Los controles de panel, mencionados en la metodología, fueron colocados junto a la pantalla táctil HMI.

Las válvulas solenoides fueron alimentadas con 24V en corriente directa. Se decidió trabajar con corriente directa ya que la señal llegaría más limpia que la corriente alterna, de igual forma la corriente alterna tiene más variaciones. Esto ayuda a que el sistema trabaje mejor y puede tener dispositivos sin necesidad de cambio por un tiempo prolongado.

Las alimentaciones que se utilizaron son: tres líneas de 120V en corriente alterna las cuales 2 se utilizan para motores y algunas alimentaciones que no demandan mucha corriente como la fuente de alimentación Allen Bradley y el ventilador, y la otra línea se utilizó como alimentación de la fuente de voltaje de 24V DC. Para proteger dicha fuente se colocó una serie de fusibles en la entrada de cada dispositivo. El uso de los fusibles es necesario ya que al momento en que una bobina de algún actuador tenga problemas eléctricos, se abre el fusible y no llega ninguna alteración a la fuente de voltaje. Para la alimentación se utilizaron dos tipos separados para guiar las señales eléctricas. Para el cableado de las señales de control se utilizó canaleta plástica semiabierta; por otro lado para las señales del equipo de potencia se utilizó tubo de aluminio de tres cuartos de pulgada, tubería que está completamente cerrada excepto en las curvas.

Todo el cableado utilizado para los dispositivos es calibre 18 AWG y para voltajes altos (120V) se utilizó calibre 8 AWG. La decisión de utilizar calibre 8 AWG para 120V en corriente alterna fue debido a que anteriormente había un arreglo con dos cables calibre 18

AWG conectados en paralelo hacia los motores lo cual no era lo correcto por lo que se decidió sobredimensionar para tener mayor seguridad a la hora de alguna alteración. El código de colores utilizado en el panel se detalla en la metodología.

Los sensores de temperatura de resistencia variable (RTDs) se colocaron en la entrada y salida de cada intercambiador para poder tener un registro de la temperatura de entrada y de salida de ambos fluidos. En los condensadores se colocaron de la misma forma con la diferencia que para la entrada de vapor únicamente se utilizó una para los dos. Para dichas RTDs se utilizó, al igual que en los demás dispositivos, cable calibre 18 AWG.

El programa del PLC se desarrolló utilizando lenguaje tipo escalera y texto estructurado. El lenguaje tipo escalera se utilizó debido a que es el lenguaje más fácil de entender en secuencia lógica para los operarios del laboratorio, también se pueden tener una mejor visualización de los estados de los actuadores. Para la estructura se utilizó una rutina principal la cual es Main, la cual se encarga de llamar a diferentes subrutinas que tienen banderas que cambian el estado de los actuadores dependiendo de que intercambiador de calor o condensador de vapor se vaya a utilizar. Para las entradas analógicas los datos siempre se tienen en la rutina principal, ya que es llamada siempre para ajustar y escalar los datos entregados por los módulos. Finalmente, la rutina principal activa las salidas de la configuración que se eligió.

Para la HMI (Interfaz Humano-Máquina) se realizó una interfaz que debía ser visible para el usuario y que se pudiera manipular de manera táctil sin ningún problema, es decir, que los botones debían ser lo suficientemente grandes para que pudiera ser manipulado con las manos. En la pantalla de inicio se le da al usuario la opción a elegir el modo de operación que se desea utilizar, entre ellas están: intercambiador de placas, intercambiador de tubos concéntricos, intercambiador de concha y tubos, intercambiadores en serie, condensador de 1 tubo y condensador de 5 tubos. al ingresar a cualquiera de las opciones mencionadas anteriormente, cada pantalla cuenta con las variables necesarias para controlar el modo de operación elegido, un botón de arranque y de paro, la opción de controlar las válvulas proporcionales, introducir la temperatura a la que se desea que el agua llegue, y el caudal de los fluidos con los que se esté trabajando. La pantalla es alimentada con 24V corriente directa y está en comunicación con el PLC vía ethernet.

Conclusiones

La integración de los distintos procesos de intercambio de calor y de condensación de vapor del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala se logró con éxito.

Se pudo implementar un control automático para el proceso de intercambio de calor con tres intercambiadores de calor y dos condensadores de vapor diferentes.

Se logró implementar una pantalla táctil de 6.5 pulgadas marca Allen Bradley modelo PanelView Plus 7 al proceso automatizado con los intercambiadores de calor y condensadores de vapor del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, agradable para el manejo del sistema por cualquier estudiante promedio de dicha universidad.

El control del sistema se logró gracias al controlador lógico programable CompactLogix 1769-L35E Marca Allen Bradley.

Es importante saber que al utilizar fluidos en un sistema se pueden tener problemas de cavitación y turbulencia.

Incentivar a los estudiantes a que realicen trabajos de automatización en la Universidad del Valle de Guatemala.

Continuar con el manejo de equipos industriales en el laboratorio de operaciones unitarias para que los estudiantes puedan tener un ambiente lo más parecido a lo que encontrarán en las industrias.

Realizar una comunicación con más de un trabajador de la empresa de proveedores para que se pueda tener más certeza de la exactitud de los productos que se compran.

10.1. Para el uso del equipo

Capacitar previamente a los usuarios del sistema para evitar errores y daños al equipo

Drenar el material utilizado durante las prácticas para evitar que se cree sarro o sedimentos a lo largo de las tuberías y actuadores.

No permitir que personal no autorizado haga modificaciones en la programación de los dispositivos ni en la tubería.

Realizar limpieza del equipo por lo menos una vez al mes.

Evitar golpes fuertes en el panel de la pantalla táctil, ya que algún dispositivo puede sufrir daños.

-
- [1] J. M. M. y S. Guillen, *Diseño y Cálculo de Intercambiadores de Calor Monofásicos*. Paraninfo, 2013.
 - [2] S. C. M. J. Costa López, *Curso de ingeniería Química: Introducción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte*. Editorial Reverté, S. A., 2004.
 - [3] Y. cengel y A. Ghajar, *Transferencia de Calor y Masa*. México: Mc Graw Hill, 2011, vol. Cuarta Edición.
 - [4] H. E. D. y J. C. M. W. H. Severns, *Energía mediante vapor, aire o gas*. Editorial Reverté, S. A., 2007.
 - [5] S. K. y S. Shmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson Educación, 2002.
 - [6] M. V. y J. Álvarez, *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. México: Editorial Limusa, 2004, vol. Tercera Edición.
 - [7] P. O. Hidalgo, *Caracterización y selección del equipamiento frigorífico*. Editorial Elearning S. L., 2015.
 - [8] E. A. y Alfredo Goitia, *Instrumentación Industrial*. Universidad de Zulia, 1997, vol. 1ra edición.
 - [9] E. Á. Casado, *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje*. Paraninfo, 2012.
 - [10] A. C. Solé, *Instrumentación Industrial*. marcombo, 2011, vol. 8va edición.
 - [11] A. Bradley, *Manual del usuario de los controladores CompactLogix 1769*. Febrero 2013, [Online] Disponible en URL: <https://literature.rockwellautomation.com/idc/.pdf>.
 - [12] —, *Terminales estándar PanelView Plus 7*. Mayo 2015, [Online] Disponible en URL: <https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711pum007-es-p.pdf>.
 - [13] —, *Compact™ 1769-IQ16 Módulo de entradas 24 V c.c. drenador/surtidor*. Enero 1999, [Online] Disponible en URL: <https://literature.rockwellautomation.com/.pdf>.

- [14] —, *Compact I/O Isolated Analog Modules*. Mayo 2010, [Online] Disponible en URL: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um014_en-p.pdf.
- [15] —, *Compact I/O RTD/Resistance Input Module*. Marzo 2012, [Online] Disponible en URL: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um005_en-p.pdf.
- [16] —, *Compact™ Individually Isolated AC/DC Relay Output Module*. Abril 2001, [Online] Disponible en URL: <https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups.pdf>.
- [17] —, *Compact I/O Isolated Analog Modules*. Mayo 2010, [Online] Disponible en URL: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um014_en-p.pdf.
- [18] —, *Fuentes de alimentación de expansión Compact I/O*. Octubre 2008, [Online] Disponible en URL: <https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups.pdf>.
- [19] S. Flow, *High Pressure/Temperature Indicators, Switches, and Transmitters*. 2006, [Online] Disponible en URL: https://www.sureflowproducts.com/liquid_flow_meter/water_flow_meter.
- [20] Parker, *General Purpose Solenoid Valves, Skinner™ and Gold Ring™ Valves*. Septiembre 2011, [Online] Disponible en URL: <https://www.parker.com/literature/Fluid20Control20.pdf>.
- [21] ASCO, *PROPORTIONAL VALVES WITH POSITIONER-D, pressure operated all standard connection types*. Septiembre 2011, [Online] Disponible en URL: <https://www.asco.com/.pdf>.
- [22] Sta-Rite, *60 CYCLE “J” and “JB” SERIES CENTRIFUGAL PUMP*. 2005, [Online] Disponible en URL: https://www.pumpvendor.com/media/sta-rite/Sta-Rite_JHE-63HL.pdf.
- [23] ESPA, *Bombas de presurización horizontal, PRISMA 25*, [Online] Disponible en URL: http://global.espa.com/es_es/productos/productos-por-gamas/suministro/bombas-de-presurizacion-horizontales/prisma/prisma-25/.
- [24] S. Electric, *Phaseo™ power supplies ABL1, ABL7 and ABL8*. 2011, [Online] Disponible en URL: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=CatalogpFileName=DIA3ED207041EN-US.pdfpDocRef=DIA3ED207041EN-US.

ANEXO A

Main

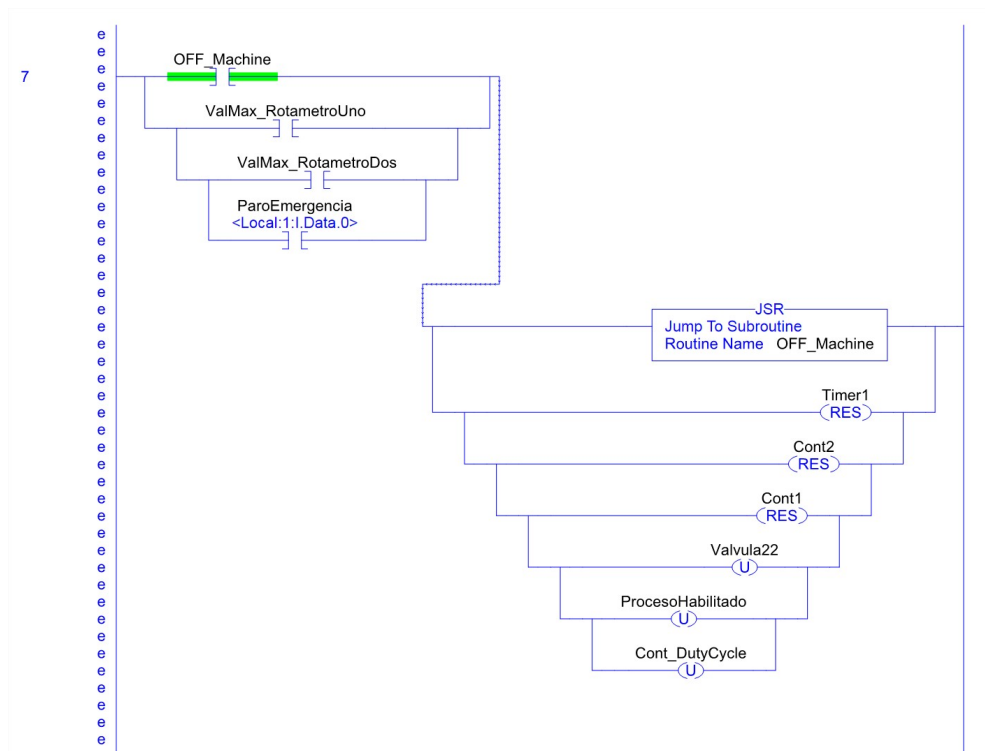


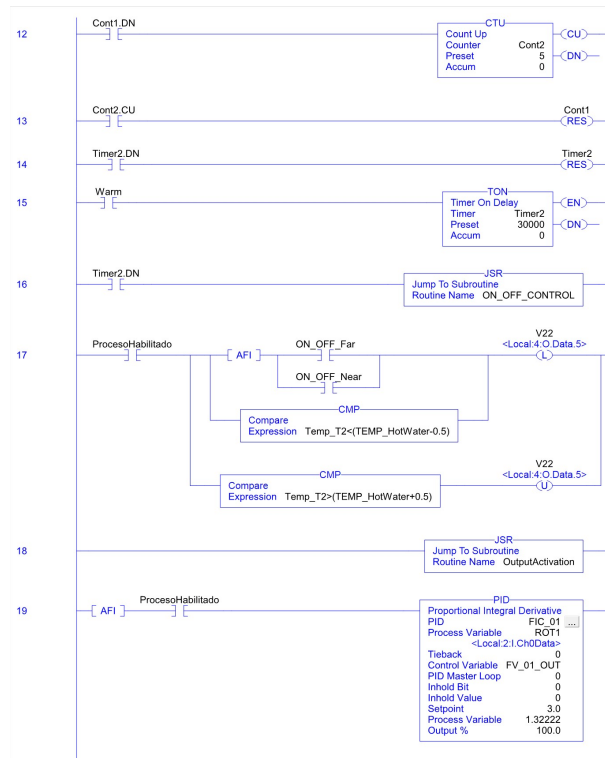
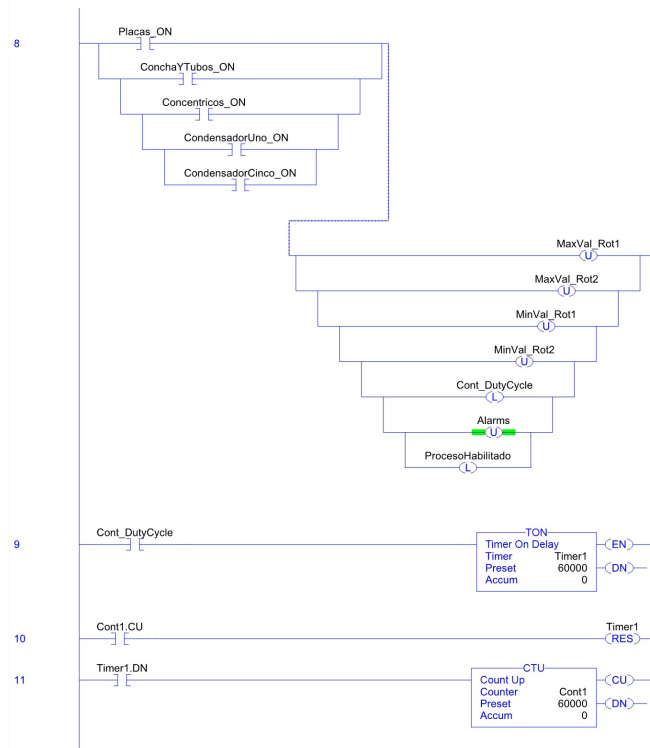
Dispositivo	Dirección de E/S	Descripción
V1	Local:3:O.Data.0	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V1, la cual es la válvula encargada de la salida de agua caliente del intercambiador de tubos concéntricos.
V2	Local:3:O.Data.1	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V2, la cual es la válvula encargada del paso de agua caliente entre entrada y salida del intercambiador de tubos concéntricos.
V3	Local:3:O.Data.2	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V3, la cual es la válvula encargada de la entrada de agua caliente del intercambiador de tubos concéntricos.
V4	Local:3:O.Data.3	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V4, la cual es la válvula encargada de la entrada de agua caliente del intercambiador de concha y tubos.
V5	Local:3:O.Data.4	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V5, la cual es la válvula encargada del paso de agua caliente entre entrada y salida del intercambiador concha y tubos.
V6	Local:3:O.Data.5	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V6, la cual es la válvula encargada de la salida de agua caliente del intercambiador de concha y tubos.
V7	Local:3:O.Data.6	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V7, la cual es la válvula encargada de la entrada de agua caliente del intercambiador de placas.
V8	Local:3:O.Data.7	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V8, la cual es la válvula encargada del paso de agua caliente entre entrada y salida del intercambiador de placas.
V9	Local:3:O.Data.8	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V9, la cual es la válvula encargada de la salida de agua caliente del intercambiador de placas.
V10	Local:3:O.Data.9	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V10, la cual es la válvula encargada de la entrada de agua fría del intercambiador de placas.
V11	Local:3:O.Data.10	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V11, la cual es la válvula encargada del paso de agua fría entre la entrada y la salida del intercambiador de placas.
V12	Local:3:O.Data.11	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V12, la cual es la válvula encargada de la salida de agua fría del intercambiador de placas.
V13	Local:3:O.Data.12	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V13, la cual es la válvula encargada de la entrada de agua fría del intercambiador de concha y tubos.
V14	Local:3:O.Data.13	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V14, la cual es la válvula encargada del paso de agua fría entre la entrada y la salida del intercambiador de concha y tubos.
V15	Local:3:O.Data.14	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V15, la cual es la válvula encargada de la salida de agua fría del intercambiador de concha y tubos.

V16	Local:3:O.Data.15	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V16, la cual es la válvula encargada de la entrada de agua fría del intercambiador de tubos concéntricos.
V17	Local:4:O.Data.0	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V17, la cual es la válvula encargada del paso de agua fría entre la entrada y la salida del intercambiador de tubos concéntricos.
V18	Local:4:O.Data.1	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V18, la cual es la válvula encargada de la salida de agua fría del intercambiador de tubos concéntricos.
V19	Local:4:O.Data.2	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V19, la cual es la válvula encargada de la entrada de agua fría del condensador de vapor de un tubo.
V20	Local:4:O.Data.3	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V20, la cual es la válvula encargada de la entrada de agua fría del condensador de cinco tubos y entrada de vapor del condensador de cinco tubos.
V21	Local:4:O.Data.4	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V21, la cual es la válvula encargada de la entrada de vapor de condensador de un tubo.
V22	Local:4:O.Data.5	Entrada digital que cuenta con la válvula solenoide V22, la cual es la válvula encargada de la entrada de vapor del cilindro de agua caliente.
T1	Local:5:I.Ch0Data	RTD 1 ubicada en la salida del agua fría del intercambiador de tubos concéntricos.
T2	Local:5:I.Ch1Data	RTD 2 ubicada en la entrada del agua caliente del intercambiador de tubos concéntricos.
T3	Local:5:I.Ch2Data	RTD 3 ubicada en la salida del agua caliente del intercambiador de tubos concéntricos.
T4	Local:5:I.Ch3Data	RTD 4 ubicada en la entrada del agua fría del intercambiador de tubos concéntricos.
T5	Local:5:I.Ch4Data	RTD 5 ubicada en la entrada del agua caliente del intercambiador de concha y tubos.
T6	Local:5:I.Ch5Data	RTD 6 ubicada en la salida del agua caliente del intercambiador de concha y tubos.
T7	Local:6:I.Ch0Data	RTD 7 ubicada en la entrada del agua caliente del intercambiador de placas.
T8	Local:6:I.Ch1Data	RTD 8 ubicada en la salida del agua caliente del intercambiador de placas.
T9	Local:6:I.Ch2Data	RTD 9 ubicada en la entrada del agua fría del intercambiador de placas.
T10	Local:6:I.Ch3Data	RTD 10 ubicada en la salida del agua fría del intercambiador de placas.
T11	Local:6:I.Ch4Data	RTD 11 ubicada en la entrada del agua fría del intercambiador de concha y tubos.
T12	Local:6:I.Ch5Data	RTD 12 ubicada en la salida del agua fría del intercambiador de concha y tubos.

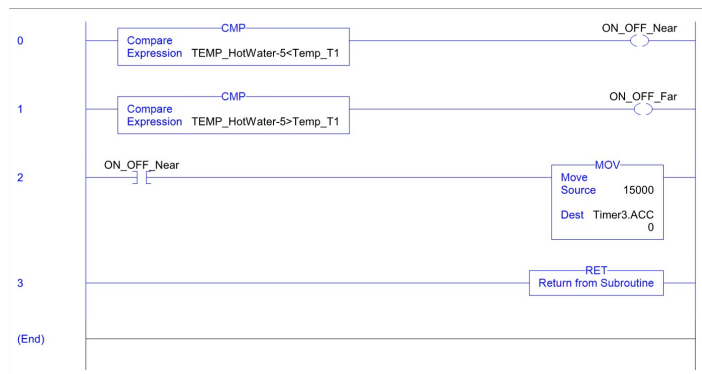
T13	Local:7:I.Ch0Data	RTD 13 ubicada en la salida del vapor condensado del condensador de un tubo.
T14	Local:7:I.Ch1Data	RTD 14 ubicada en la salida del vapor condensado del condensador de cinco tubos.
T15	Local:7:I.Ch2Data	RTD 15 ubicada en la salida del vapor condensado de los condensadores.
Temp_T1	Local:7:I.Ch3Data	RTD 16 ubicada en el cilindro de agua caliente.
Temp_T2	Local:7:I.Ch4Data	RTD 17 ubicada en el cilindro de agua fría.
TempVapor	Local:7:I.Ch5Data	RTD 18 ubicada en la entrada de vapor del sistema.
Paro de emergencia	Local:1:I.ChData.0	Botón de paro de emergencia.
Manual	Local:1:I.ChData.1	Switch rotativo para control manual de la máquina.
Automático	Local:1:I.ChData.2	Switch rotativo para el control automático de la máquina.
Nivel_Caliente_Max	Local:1:I.ChData.4	Sensor de nivel del cilindro de agua caliente.
Nivel_Frío_Max	Local:1:I.ChData.5	Sensor de nivel del cilindro de agua fría 1.
Nivel_Frío_Max_2	Local:1:I.ChData.6	Sensor de nivel del cilindro de agua fría 2.
FV_01	Local:8:O.Ch0Data	Salida analógica para el control de la válvula solenoide de agua caliente.
FV_02	Local:8:O.Ch1Data	Salida analógica para el control de la válvula solenoide de agua fría.
Bomba_1	Local:4:O.Data.6	Bomba centrífuga de agua caliente.
Bomba_2	Local:4:O.Data.7	Bomba centrífuga de agua fría.

Cuadro 20





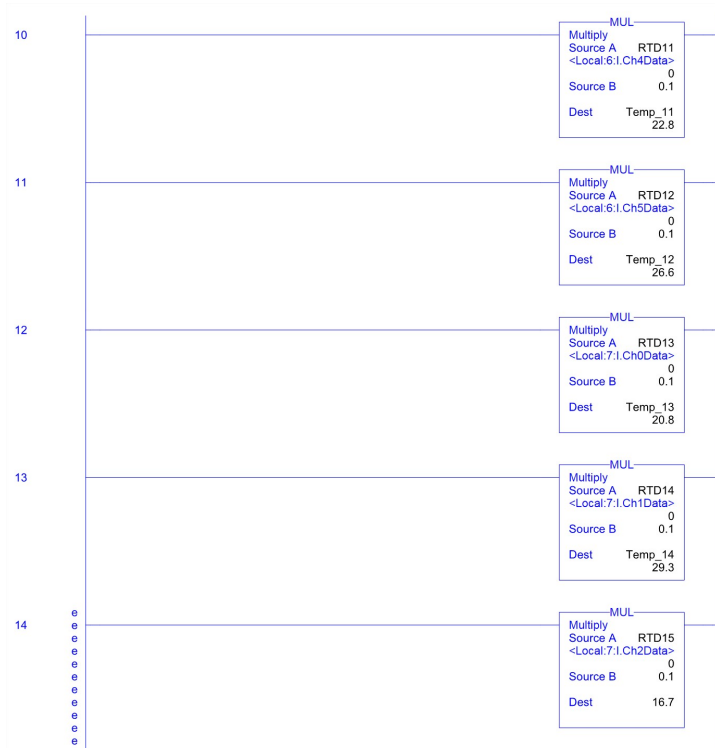
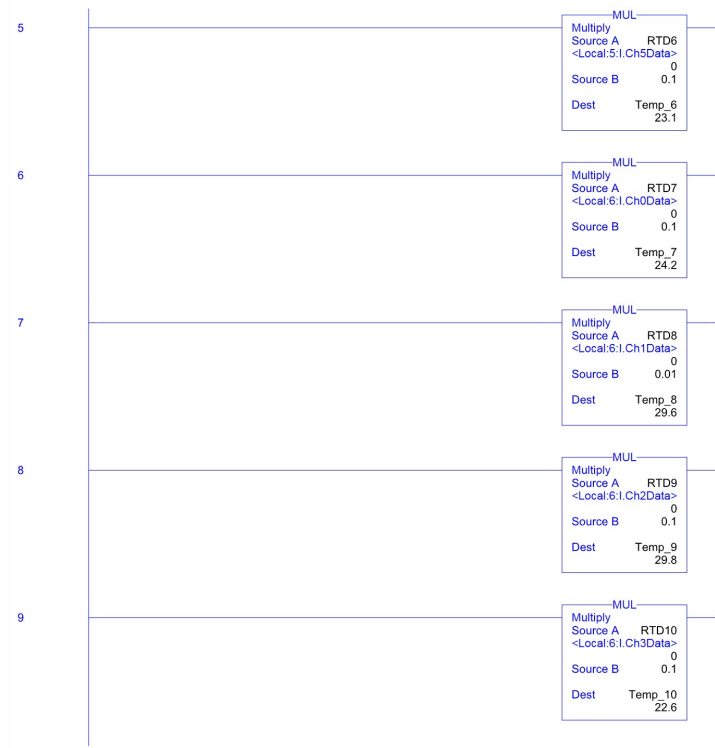
ON OFF CONTROL



ANEXO C

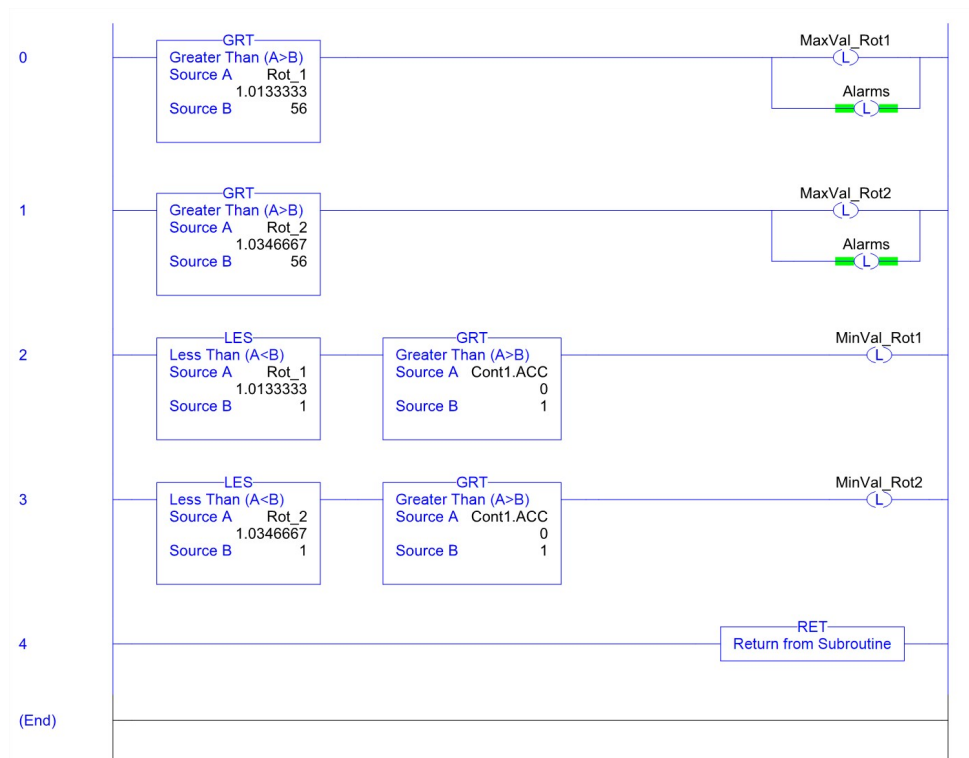
Temp

0	<p>MUL</p> <p>Multiply Source A RTD1 <Local:5.1.CH0Data> 0 Source B 0.1 Dest Temp_1 23.3</p>
1	<p>MUL</p> <p>Multiply Source A RTD2 <Local:5.1.CH1Data> 0 Source B 0.1 Dest Temp_2 27.1</p>
2	<p>MUL</p> <p>Multiply Source A RTD3 <Local:5.1.CH2Data> 0 Source B 0.1 Dest Temp_3 23.1</p>
3	<p>MUL</p> <p>Multiply Source A RTD4 <Local:5.1.CH3Data> 0 Source B 0.1 Dest Temp_4 22.8</p>
4	<p>MUL</p> <p>Multiply Source A RTD5 <Local:5.1.CH4Data> 0 Source B 0.1 Dest Temp_5 22.8</p>



ANEXO D

Alarms ON



Control de flujo

