

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**



**Automatización de intercambiadores de calor y  
condensadores de vapor del Laboratorio de Operaciones  
Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de investigación presentado por Andrés Alberto Peña Maltez para optar al  
grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala  
2010



**Automatización de intercambiadores de calor y  
condensadores de vapor del Laboratorio de Operaciones  
Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**



**Automatización de intercambiadores de calor y  
condensadores de vapor del Laboratorio de Operaciones  
Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de investigación presentado por Andrés Alberto Peña Maltez para optar al  
grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala  
2010

**Vo. Bo.:**

(f) \_\_\_\_\_  
**Ing. Juancarlos Burmester**

**Tribunal:**

(f) \_\_\_\_\_  
**MSc Carlos Esquit**

(f) \_\_\_\_\_  
**MSc Gamaliel Zambrano**

(f) \_\_\_\_\_  
**Ing. Juancarlos Burmester**

**Fecha de aprobación: 2 de diciembre de 2010**

## **PREFACIO**

Este trabajo de graduación nace de la fascinación y el deseo de explorar un campo de interés del autor en el control automático de sistemas industriales. El tema medular tratado en esta tesis es de vital importancia en el acontecer actual en la industria.

En general el desarrollo de este trabajo de graduación fue bastante fluido, aunque su implementación se alcanzo después de un gran esfuerzo en el montaje y puesta en marcha del sistema.

Agradezco a mi madre, Sandra Peña, por todo el apoyo prestado durante toda mi vida estudiantil. A las personas que me dieron su ayuda incondicional en los momentos más difíciles y de todo corazón les estaré agradecido. Cabe mencionar la ayuda proporcionada por personas del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle que fueron de vital importancia para la culminación del trabajo. Agradezco también a mi asesor Juancarlos Burmester, por las ideas, sugerencias y visualizaciones que me ayudaron a culminar este proyecto.

# CONTENIDO

PREFACIO .....	iii
LISTA DE TABLAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS .....	2
A. Objetivos generales.....	2
B. Objetivos específicos .....	2
III. MARCO TEÓRICO.....	3
A. Intercambiador de placas .....	3
B. Intercambiador de doble tubo .....	4
C. Intercambiador de concha y tubos en U.....	5
D. Válvulas solenoides.....	6
E. Válvulas de control .....	7
F. Sensores.....	7
G. Medidor de flujo de área variable.....	7
H. Medidor de temperatura de resistencia variable .....	8
I. Medidor de temperatura tipo termopar .....	9
J. Controlador de lógica programable.....	9
IV. ANTECEDENTES.....	10
V. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO .....	11
VI. METODOLOGÍA.....	12
Ø Diseño e Investigación del Proceso.....	12

∅ Implementación y montaje. ....	12
∅ Programación y diseño de software.....	12
∅ Prueba y puesta en marcha.....	12
A. Herramientas de trabajo.....	13
B. Requerimientos del módulo.....	13
VII. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	14
A. Selección de componentes .....	14
1. Selección del controlador de lógica programable .....	14
a. Procesador. ....	14
b. Módulo de entradas analógicas. ....	15
c. Módulo de salidas analógicas.....	16
d. Módulo de RTD´s.....	17
e. Módulo de salidas a relé. ....	18
f. Fuente de alimentación.....	19
g. Módulo de entradas – salidas digitales. ....	20
2. Dispositivos de entrada y salida.....	21
a. Válvulas. ....	21
1) Válvula solenoide para agua fría.....	21
2) Válvula solenoide para agua caliente.....	22
b. Medidor de flujo de área variable. ....	23
c. Sensor de temperatura. ....	24
1) Sensor de resistencia variable (RTD).....	24
d. Bomba centrífuga.....	25
3. Dispositivos de potencia .....	25
a. Guarda motores. ....	26
b. Contactores.....	26
c. Relés de dos polos .....	26
d. Seccionador principal.....	26
e. Borneras de conexión.....	26

f. Borneras de protección.....	26
B. Diagrama eléctrico de potencia del sistema .....	27
C. Diagrama eléctrico de señales de control .....	28
D. Diagrama de operación del sistema.....	30
E. Diagrama de componentes de panel de control .....	38
VIII. RESULTADOS .....	39
A. Estructura y equipos.....	39
B. Tubería y accesorios .....	40
C. Intercambiadores de calor.....	41
D. Panel de control .....	43
E. Controlador de lógica programable.....	44
F. Contactores y guarda – motores.....	44
G. Borneras de conexión.....	45
H. Seccionador principal .....	45
I. Fuente de alimentación.....	46
J. Borneras de protección.....	46
K. Programa del controlador de lógica programable.....	47
L. Interfaz gráfica.....	48
IX. DISCUSIÓN .....	57
X. CONCLUSIONES .....	62
XI. RECOMENDACIONES.....	63
A. Para nuevas implementaciones .....	63
B. Para el uso del equipo .....	63
XII. BIBLIOGRAFÍA .....	64
XIII. APÉNDICE .....	66

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Páginas
1. Características de procesador .....	14
2. Señales de entrada a módulo analógico .....	15
3. Especificaciones eléctricas de OW16 .....	18
4. Especificaciones de fuente de alimentación .....	19
5. Especificaciones de entradas/salidas digitales.....	20
6. Descripción de válvula solenoide agua fría .....	22
7. Descripción de válvula solenoide de agua caliente y vapor.....	22
8. Especificaciones de rotámetro.....	23
9. Características de sensor de temperatura .....	24
10. Características eléctricas de bomba Star Rite .....	25
11. Características eléctricas de bomba ESPA .....	25
12. Número de conductores de componentes.....	28
13. Estado de válvulas intercambiador tubos concéntricos.....	31
14. Estado de válvulas intercambiador concha y tubos.....	32
15. Estado de válvulas intercambiador de placas .....	33
16. Estado de válvulas de intercambiadores en serie .....	34
17. Estado de válvulas condensador de un tubo .....	35
18. Estado de válvulas condensador de cinco tubos .....	36
19. Pantallas de interfaz gráfica .....	48
20. Primera tabla de tags del controlador .....	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura No. 1 Patrones de corrugado de platos .....	3
Figura No. 2 Funcionamiento de intercambiador de placas .....	4
Figura No. 3 Disposición geométrica de intercambiador.....	5
Figura No. 4 Estructura de Intercambiador de concha y tubos en U.....	6
Figura No. 5 Partes de una termorresistencia.....	8
Figura No. 6 Dimensiones del procesador.....	15
Figura No. 7 Disposición física del módulo de entradas analógicas.....	16
Figura No. 8 Módulo de salidas analógicas .....	17
Figura No. 9 Bloque de terminales de módulo IR6 .....	18
Figura No. 10 Bloque de terminales del módulo de relés OW16 .....	19
Figura No. 11 Fuente de poder 1769 – PA2.....	20
Figura No. 12 Esquema de módulo de entradas/salidas digitales.....	21
Figura No. 13 Rotámetro medidor – transmisor .....	23
Figura No. 14 Sensor de temperatura RTD .....	24
Figura No. 15 Circuito principal de alimentación .....	27
Figura No. 16 Señales de control y retroalimentación.....	29
Figura No. 17 Diagrama de operación de flujo.....	37
Figura No. 18 Esquema de diseño de tablero de control.....	38
Figura No. 19 Estructura metálica .....	39
Figura No. 20 Estructura y equipos .....	40
Figura No. 21 Tubería y accesorios instalados .....	41
Figura No. 22 Intercambiador de tubos concéntricos.....	42
Figura No. 23 Intercambiador de concha y tubos.....	42
Figura No. 24 Intercambiador de placas.....	43
Figura No. 25 Tablero de control.....	43
Figura No. 26 Procesador con módulos.....	44
Figura No. 27 Contactores con guarda – motor.....	44
Figura No. 28 Borneras de conexión al proceso .....	45
Figura No. 29 Seccionador de tablero.....	45
Figura No. 30 Fuente de corriente directa .....	46

Figura No. 31	Borneras con fusibles.....	46
Figura No. 32	Diagrama general de funcionamiento del sistema.....	47
Figura No. 33	Pantalla uno del HMI .....	49
Figura No. 34	Pantalla dos HMI .....	50
Figura No. 35	Pantalla tres HMI .....	51
Figura No. 36	Pantalla cuatro HMI .....	52
Figura No. 37	Pantalla cinco HMI.....	53
Figura No. 38	Pantalla seis HMI .....	54
Figura No. 39	Pantalla siete HMI.....	55
Figura No. 40	Pantalla ocho HMI .....	56

## **RESUMEN**

Este trabajo de graduación surge de la necesidad de contar con una unidad de trabajo que contenga los equipos utilizados en el intercambio de calor y condensación los cuales son: intercambiador de concha y tubos, intercambiador de placas, intercambiador de tubos concéntricos, condensador de vapor de un tubo y condensador de vapor de cinco tubos. Estos equipos se encuentran en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). El objetivo primordial del mismo es integrar y automatizar los equipos mencionados, para crear un sistema que resulte práctico y eficiente.

Se presentará una descripción de los sensores de temperatura, medidores de flujo de área variable, bombas centrifugas, válvulas solenoides, y válvulas proporcionales utilizadas para el control del sistema como uno solo. Se exponen todos los criterios de selección que se utilizaron para cada equipo, así como la lógica de funcionamiento del sistema.

Todas las características eléctricas del seccionador, los contactores, guarda motores, fuente de alimentación, e interruptores de línea que utilizan los equipos así como del controlador de lógica programable se presentan de forma simplificada, presentando las características más importantes de cada uno de ellos para culminar con una integración de componentes que responden a las exigencias del sistema.

Esta implementación es una continuación de la automatización llevada a cabo en el laboratorio de operaciones unitarias de la UVG desde el año 2007 y tiene como objetivo contar con un laboratorio que posea un control industrial en todos sus equipos.

# I. INTRODUCCIÓN

El control de procesos industriales constituye un área fascinante de la electrónica y nada ha revolucionado tanto este campo, como los controladores de lógica programable (PLC "Programable Logic Controller"). Los controladores han agregado fiabilidad al control en el campo industrial. Estos dispositivos funcionan como el cerebro de todo el sistema, agregando inteligencia a la evaluación de datos y sofisticación en las respuestas a las perturbaciones de los procesos.

Este trabajo de graduación consiste en diseñar, montar, y automatizar los equipos de intercambio de calor que posee el laboratorio de operaciones unitarias del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala. El proyecto enmarca en total cuatro procesos de intercambio de calor: una fase consiste en un intercambiador de concha y tubos, otra en un intercambiador de calor de placas, otro de tubos concéntricos, y por último la fase de condensación de vapor, la cual cuenta específicamente con dos condensadores de uno y cinco tubos respectivamente.

Uno de los objetivos principales del proyecto es lograr que las diferentes etapas de intercambio de calor se unifiquen en un solo módulo para que con esto los estudiantes puedan realizar, en una misma estación de laboratorio, las diferentes prácticas relacionadas. Todo este proceso se pretende manipular de una forma automatizada utilizando componentes electrónicos de control e instrumentación de última generación a nivel industrial, con el objetivo de que los usuarios de dicho proceso se ambienten a un entorno real de trabajo en planta.

La finalidad de esta integración es que los estudiantes que utilicen el equipo tengan contacto con un entorno de trabajo en planta, ya que los componentes tanto de intercambio de calor, como de control son los utilizados en la actualidad en las plantas que requieren sus servicios.

## **II. OBJETIVOS**

### **A. Objetivos generales**

Contar con una sola estación de laboratorio que involucre los distintos procesos de intercambio de calor con los que se cuenta en el laboratorio de Operaciones Unitarias del Departamento de Ing. Química de la Universidad del Valle de Guatemala.

Integrar las ramas de control automático de procesos y la instrumentación industrial al módulo de Intercambio de calor, con el objetivo de tener un proceso regido por un mando automatizado que logre controlar con precisión los flujos y transferencias de calor deseados en la práctica de Laboratorio de Operaciones Unitarias.

### **B. Objetivos específicos**

- Controlar cada componente de los intercambiadores de calor utilizando como control centralizado un controlador lógico programable.
- Utilizar eficazmente los materiales y recursos que se involucran en el desarrollo de las prácticas, creando con esto un sistema cerrado de alta eficiencia.
- Desarrollar una interfaz gráfica de control que permita al usuario manipular las variables involucradas en el sistema.
- Diseñar diferentes modos de operación del módulo.

### III. MARCO TEÓRICO

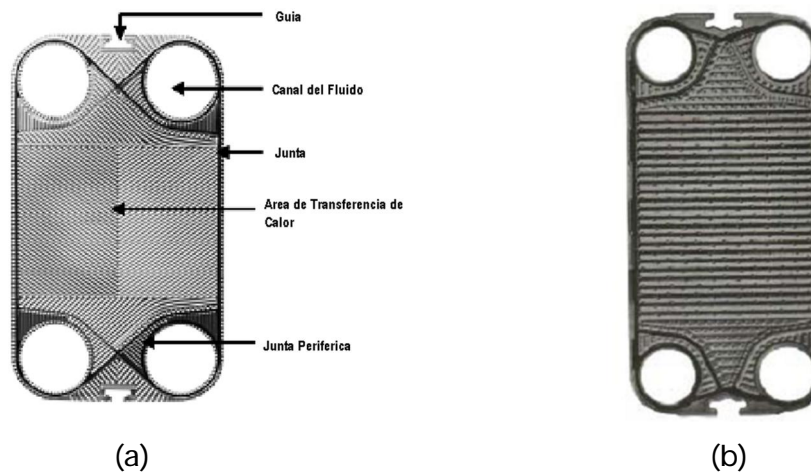
#### A. Intercambiador de placas

Un intercambiador de calor de placas consiste en varias placas con juntas de metal que se sujetan entre una cabeza fija y un riel de placa de pernos de sujeción. Las placas son rectangulares con puertos circulares en cada extremo, por los cuales los líquidos pueden entrar en y salir. Un diseño especial consiste en una superficie corrugada que está estampada en las delgadas paredes de las placas. [4]

Numerosas son las placas que se pueden colocar en el intercambiador, esto hace que los dos líquidos se dirijan a través de la alternancia de espacios entre las placas. [4]

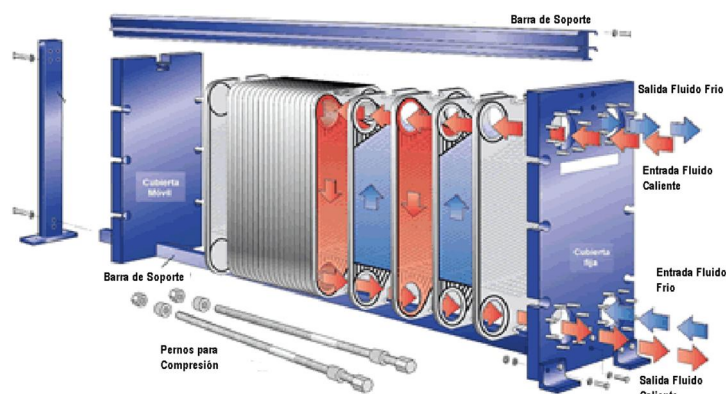
Los dos principales patrones de corrugado utilizados en las placas son: el tipo whasboard y el de tipo herringbone, que se pueden apreciar en la figura 1 a y b respectivamente. [4]

Figura No. 1 Patrones de corrugado de platos (a) plato tipo herringbone (b) plato tipo whasboard [4]



El funcionamiento de este tipo de intercambiador sin importar la corrugación de los platos se describe con la Figura No. 2. Las características más importantes de este tipo de intercambiadores las podemos resumir en: Altos coeficientes de transferencia de calor, intercambio de calor con diferencias de temperatura mínimas, espacio de ubicación reducido, fácil acceso para su limpieza, gran resistencia a la corrosión, e inversión moderada. [4]

Figura No. 2 Funcionamiento de intercambiador de placas [5]

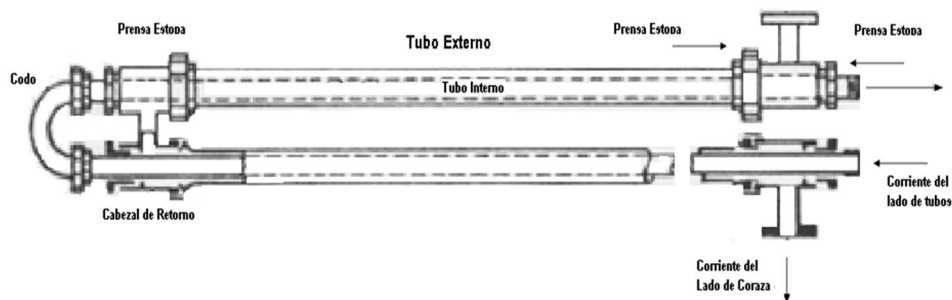


## B. Intercambiador de doble tubo

El intercambiador de doble tubo es del tipo más simple que se puede encontrar de tubos rectos. Básicamente este tipo de intercambiador consiste en dos tubos concéntricos, lisos o aleteados. Normalmente el fluido frío se coloca en el espacio anular, y el fluido cálido va en el interior del tubo interno. La disposición geométrica se muestra en la Figura No. 3. [6]

Este intercambiador está formado por varias unidades como la que se muestra en Figura No. 3. Cada una de ellas se llama horquilla y se arma con tubo roscado. El flujo es en contra corriente pura, excepto cuando hay caudales grandes que demandan un arreglo en serie – paralelo. [6]

Figura No. 3 Disposición geométrica de intercambiador [6]



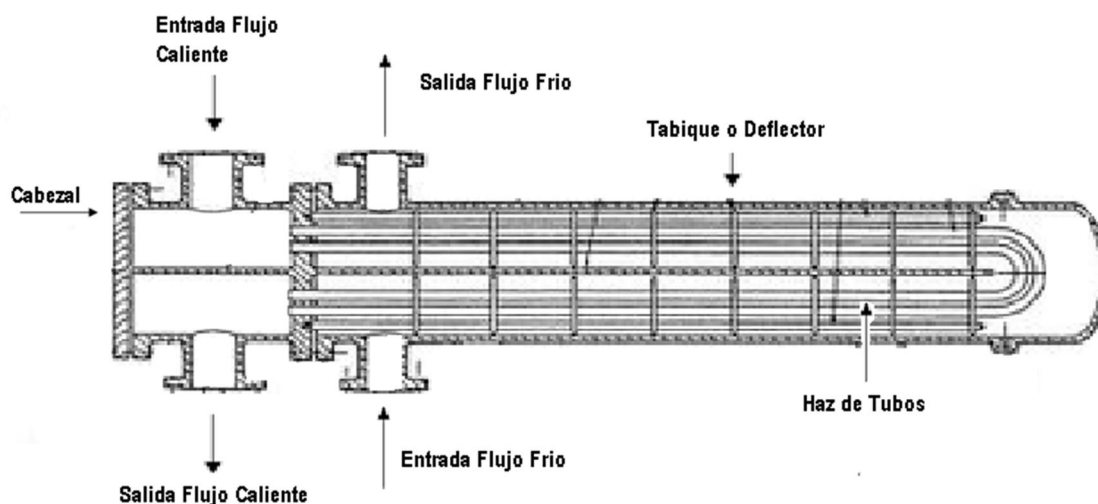
### C. Intercambiador de concha y tubos en U

Los intercambiadores de concha y tubos se utilizan para servicios en los que se requieren grandes superficies de intercambio, generalmente asociadas a caudales mucho mayores de los que puede manejar un intercambiador de doble tubo. La topología del intercambiador de tubos en U consiste en ubicar el haz de tubos, rodeados por un tubo de gran diámetro denominado coraza. [6]

El fluido que circula en el interior de los tubos ingresa por el cabezal y se distribuye por los orificios de la placa en el haz de tubos. El fluido de la coraza, en cambio, circula por el exterior del haz de tubos, siguiendo una trayectoria tortuosa por el efecto de las pantallas o tabiques deflectores. El flujo en la coraza es casi perpendicular al haz de tubos debido a la acción de las pantallas internas. [6]

Las partes que conforman el intercambiador de coraza y tubos se muestra a continuación en la Figura No. 4.

Figura No. 4 Estructura de intercambiador de concha y tubos en U [6]



## D. Válvulas solenoides

La válvula de solenoide es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. La válvula de solenoide no regula el flujo aunque puede estar siempre completamente abierta o completamente cerrada. [1]

La válvula de solenoide es una válvula que se cierra por gravedad, por presión o por la acción de un resorte; y es abierta por el movimiento de un émbolo operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente, o viceversa. [1]

La válvula de solenoide puede usarse para controlar el flujo de muchos fluidos diferentes, dándole la debida consideración a las presiones y temperaturas involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales usados en la construcción de la válvula dependiendo el fluido que se estará en contacto con el cuerpo de la válvula. [1]

## **E. Válvulas de control**

La válvula de control o válvula proporcional es el elemento final de un sistema que se desea controlar. Su misión consiste en ejecutar las órdenes de control procedentes de un controlador para gobernar el paso de un fluido específico. [3]

La válvula de control está formada por dos elementos fundamentales: Cuerpo y partes internas; y actuador o servomotor. El primero regula el paso del fluido, mientras que el segundo actúa sobre el elemento obturador de la válvula modificando su apertura. [3]

## **F. Sensores**

Los sensores son instrumentos de medición que captan el valor de la una variable del proceso y envían una señal de salida predeterminada. Al sensor también se le denomina detector o elemento primario por estar en contacto con la variable del proceso a medir. [3]

## **G. Medidor de flujo de área variable**

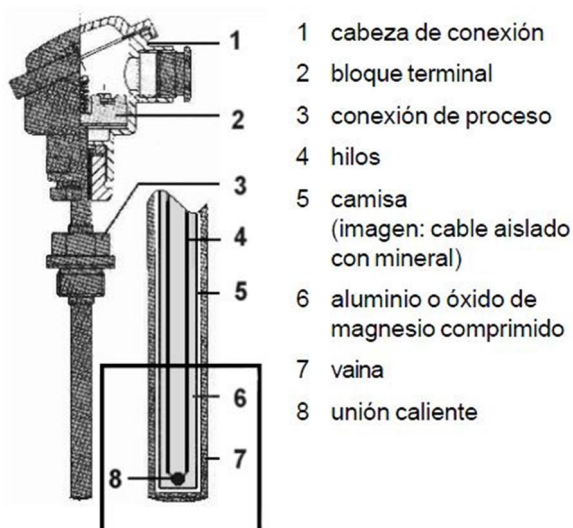
Los medidores de flujo de área variable también conocidos como rotámetros, son medidores de caudal en los cuales un flotador cambia su posición dentro de un tubo, proporcionalmente al flujo del fluido. El flotador está en equilibrio entre su peso, la fuerza de arrastre del fluido y la fuerza de empuje del fluido sobre el flotador. El caudal depende del peso específico del líquido, de su viscosidad y de los valores de la sección interior del tubo ya que la misma condición cambia según sea el punto de equilibrio del flotador.

## H. Medidor de temperatura de resistencia variable

El elemento de medición de un instrumento de este tipo consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica. [3]

Existen tres materiales que se utilizan como material resistivo de los medidores: El cobre, el níquel y el platino. Este último es el material más adecuado desde el punto de vista de la exactitud y de la estabilidad. En general, la sonda de resistencia de platino utilizada en la industria tiene una resistencia de 100 ohmios a 0 °C. Este tipo particular de medidor recibe el nombre en la industria de PT100. En la Figura No. 5 se muestra un diagrama de los componentes de una termorresistencia. [3]

Figura No. 5 Partes de una termorresistencia. [3]



## **I. Medidor de temperatura tipo termopar**

El termopar se basa en el efecto de circulación de una corriente de circuito cerrado formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantiene a distinta temperatura. [3]

Esta circulación de corriente obedece los efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier y el efecto Thomson. La combinación de ambos efectos es la causa de la circulación de corriente al cerrar el circuito en el termopar. [3]

## **J. Controlador de lógica programable**

Un controlador de lógica programable (PLC por sus siglas en inglés) es un dispositivo electrónico operado digitalmente, que usa una memoria para el almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas, para controlar a través de entradas y salidas digitales o analógicas, varios tipos de máquinas de procesos. [2]

Los PLC´s operan de manera secuencial y cíclica, es decir, una vez finalizado el recorrido completo de un programa, comienza a ejecutar la primera instrucción nuevamente. [2]

Los elementos que contiene un PLC son: Unidad Central de Proceso, Módulos de Entrada, Módulos de Salida, Fuente de Alimentación, Dispositivos Periféricos, e Interfaces. La unidad central es el cerebro del PLC, ésta toma las decisiones relacionadas al control del proceso. Los módulos de entradas y salidas son la sección del PLC en donde sensores y actuadores son conectados y a través de los cuales el PLC monitorea y controla el proceso. La fuente de alimentación convierte voltajes de corriente de línea a voltajes en corriente directa requeridos por el PLC. [2]

## **IV. ANTECEDENTES**

La automatización llevada a cabo en este trabajo de graduación nace como una continuación del proceso de automatización de equipos y maquinas llevado a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle.

Esta automatización se lleva realizando desde el año dos mil siete; en ella se han automatizado los siguientes equipos:

- Torre de absorción
- Columna de destilación

Para continuar con esta tendencia este año se seleccionó el equipo de intercambio de calor para su automatización.

## **V. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO**

Este trabajo de graduación agrupa el diseño, el montaje y la construcción del sistema de tubería y la instalación de sensores y actuadores dentro del mismo para lograr un control automático del sistema.

El proyecto surge de la necesidad del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala de contar con una sola estación de laboratorio en la que se combinen las diferentes técnicas de intercambio de calor, maximizando tanto los recursos utilizados como los resultados obtenidos. El proyecto forma parte de la etapa de migración de prácticas convencionales a procesos industriales automatizados, que el departamento de Ing. Química está llevando a cabo. Con dicha migración, se logra que los estudiantes que utilizan los equipos se familiaricen con los procesos de las plantas que se encuentran al más alto nivel de tecnología de control industrial.

Comprende la instalación de sensores de temperatura, sensores de control de flujo, válvulas solenoides, válvulas proporcionales y bombas centrifugas. Cada uno de estos elementos se ajustó dependiendo de la exigencia del sistema. Se colocó además el módulo de control, en el cual se encuentran tanto los elementos de control, como los elementos electromagnéticos necesarios para energizar el sistema, protegiendo los equipos según estándares industriales y tomando las consideraciones necesarias para el funcionamiento óptimo de cada componente.

La integración contará con una estación de trabajo manipulada por el usuario. El sistema se desarrolló así para cumplir con los requerimientos solicitados por el departamento de Ingeniería Química. Además de esto la estación será en efecto un computador, en donde se cuenta con una interfaz gráfica de fácil acceso y manejo para el usuario.

## **VI. METODOLOGÍA**

Los pasos que se siguieron para realizar el diseño, montaje y automatización del módulo de intercambio de calor y condensación son los siguientes:

### **Ø Diseño e investigación del proceso.**

Se llevó a cabo el diseño del proceso de interés y la investigación de los temas relacionados para lograr un sistema confiable, eficiente y seguro para el usuario. Se trabajó en conjunto con un Ing. Químico encargado del laboratorio de operaciones unitarias de la UVG para la combinación de conocimientos y necesidades tanto electrónicas como químicas. En esta etapa se seleccionaron los componentes que cumplieran con los requerimientos químicos y mecánicos.

### **Ø Implementación y montaje.**

En esta etapa se implementó el diseño teórico; se monto y ensambló todo el equipo en el espacio de trabajo designado para el mismo, en el laboratorio de operaciones unitarias de la UVG. Las herramientas, tuberías, y materiales serán proporcionados por el departamento de Ingeniería Química de la UVG.

### **Ø Programación y diseño de software.**

En esta fase del trabajo se implementará en software el algoritmo del proceso, se programaran las diferentes rutinas de operación, los modos de funcionamiento de cada rutina, las variables de control, la obtención de datos, entre otros. La herramienta que se utilizará para lograr la implementación es RSLogix 5000, distribuido por Allen Bradley (AB).

### **Ø Prueba y puesta en marcha**

Se llevará a cabo una serie de pruebas exhaustivas que garanticen el correcto funcionamiento de todos los dispositivos que conforman el proceso y el funcionamiento como un todo integrado.

## **A. Herramientas de trabajo**

Las herramientas utilizadas para la integración e implementación del módulo de intercambiadores de calor y condensadores de vapor son:

- Software de Programación RSLogix 5000 (Programador de PLC)
- Software de Visualización RSView (Programa de HMI)

## **B. Requerimientos del módulo**

Se realizó una investigación de las necesidades de operación de cada intercambiador de calor que se encuentra en el módulo, así como de cada tipo de los condensadores de vapor. Las necesidades encontradas para el control y puesta en marcha del nuevo equipo fueron básicamente las de controlar el caudal de entrada tanto de agua caliente como de agua fría hacia los intercambiadores de calor. Estos flujos son enviados mediante bombas centrifugas, que introducen el fluido al sistema. Otro factor de suma importancia es el de medición de temperatura en los puntos de entrada y de salida de cada intercambiador, tanto para el agua fría como para el agua caliente.

En el caso de los condensadores de vapor, lo que se necesita controlar es el flujo de entrada del agua de enfriamiento. El vapor de entrada se controla por una válvula, i.e. que tiene un flujo y presión constante. En este caso también se hizo evidente el apremio de medir la temperatura, tanto del vapor como del líquido de enfriamiento.

## VII. DISEÑO EXPERIMENTAL

### A. Selección de componentes

**1. Selección del controlador de lógica programable** Para realizar la integración y automatización del módulo, se procedió a seleccionar, según las necesidades y requerimientos del sistema, los equipos de medición, equipos de control, equipos de activación eléctrica para potencia, cable a utilizar, fusibles de protección, entre otros. Cada módulo que se describe a continuación se utiliza para la recolección y activación de los diferentes actuadores y sensores en el sistema.

**a. Procesador** Se seleccionó un procesador de marca Allen Bradley (AB) de la familia Compact Logix, modelo 1769 - L35E. Se escogió este procesador debido a la capacidad de memoria, las interfaces de comunicación que posee, las capacidades de procesamiento y programación, así como por la versatilidad que presenta para el integrador.

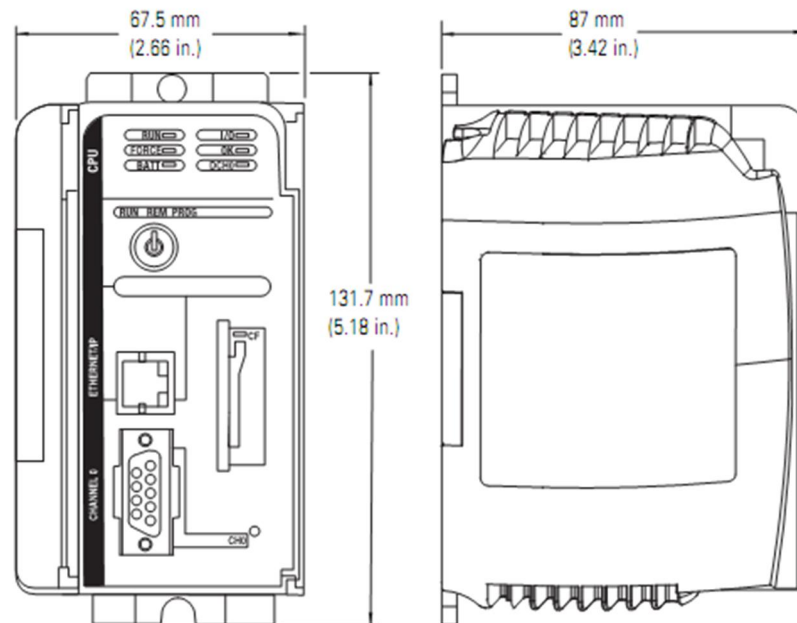
A continuación en la Tabla No.1 se presentan las características eléctricas, de memoria, y de capacidad que posee este procesador.

Tabla No. 1 Características del procesador [7]

Característica	1769 - L35E
Memoria de usuario	1.5 MB
Tarjeta de memoria flash	Si
Puertos de comunicación	Ethernet/IP 10/100 Base-T RS-232 Serial aislado 38.4 Kbps max
Capacidad de expansión de módulos	30 módulos
Distancia de cobertura de fuente de poder	4 módulos
Corriente consumida a 24VDC	90mA
Disipación de potencia	5.5W
Peso aproximado	0.66 lbs.
Montaje del módulo	En riel DIN o empotrado

A continuación se muestra en la Figura No.6 la forma y las dimensiones del procesador.

Figura No. 6 Dimensiones del procesador [7]



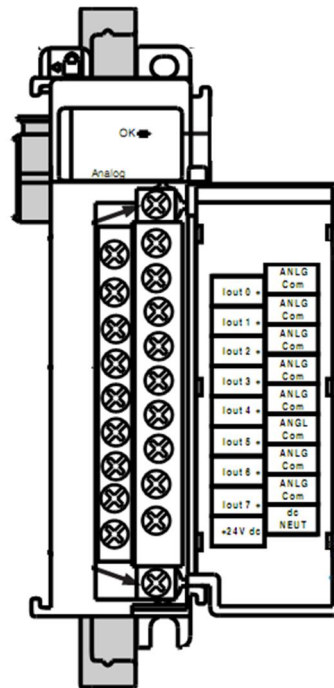
**b. Módulo de entradas analógicas** El módulo de entradas analógicas seleccionado fue marca Allen Bradley de la serie 1769 – IF8, de ocho entradas analógicas. Su función es convertir o digitalizar una señal de entrada analógica utilizando la capacidad del procesador. El dispositivo soporta hasta cuatro diferentes tipos de señal analógica, ya sea de voltaje como de corriente. En la Tabla 2 se muestra los rangos y escalas de configuración que este puede adoptar.

Tabla No. 2 Señales de entrada a módulo analógico [8]

Rango de entrada	Rango mínimo - máximo
± 10V DC	± 10.5V DC
1 a 5V DC	0.5 a 5.5V DC
0 a 5V DC	-0.5 a 5.5V DC
0 a 10V DC	0.5 a 10.5V DC
0 a 20 mA	0 a 21 mA
4 a 20 mA	3.2 a 21 mA

A continuación se muestra en la Figura No.7 la disposición y forma del módulo de entradas analógicas descrito.

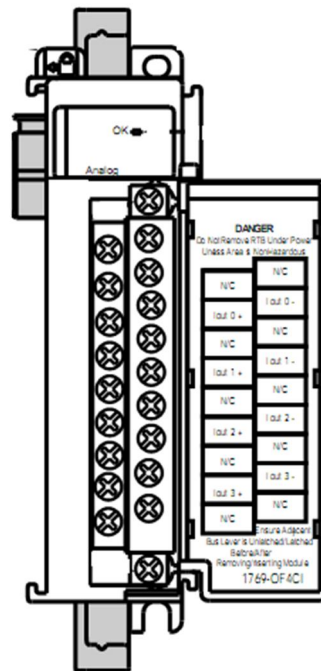
Figura No. 7 Disposición física del módulo de entradas analógicas [7]



**c. Módulo de salidas analógicas** El módulo utilizado para las señales de salidas analógicas, es de marca Allen Bradley, serie 1769 – OF4CI. Este módulo proporciona una salida de voltaje en el rango de 0 a 10 voltios en corriente directa.

En la Figura 8 se muestra el bloque de terminales que contiene el módulo para salidas analógicas de voltaje.

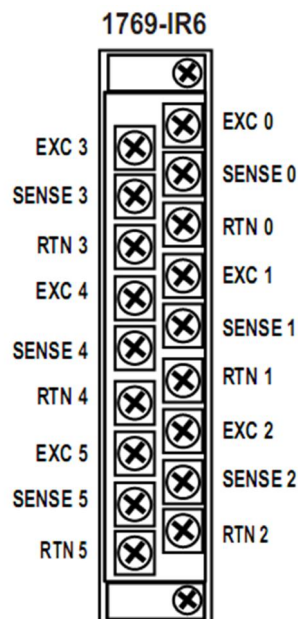
Figura No. 8 Módulo de salidas analógicas



**d. Módulo de RTD's** El módulo seleccionado para realizar la lectura y conversión de la señal de entrada del sensor de temperatura, es de marca Allen Bradley, serie 1769 – IR6 RTD. Este módulo recibe y convierte a forma digital la señal analógica de entrada de un RTD de tres hilos. El módulo tiene la capacidad de ser configurado para seis tipos de RTD o resistencias. La terminal tiene capacidad de seis señales de entrada, cada una de ellas es individual y se puede configurar según sea la necesidad. El IR6 – RTD tiene la función de poder leer la señal de entrada y hacer la conversión y al mismo tiempo linealizar la medición en escala de temperatura en °C o °F.

En la Figura 9 se muestra el bloque de terminales que contiene el módulo para entrada de RTD de tres hilos.

Figura No. 9 Bloque de terminales de módulo IR6 [9]



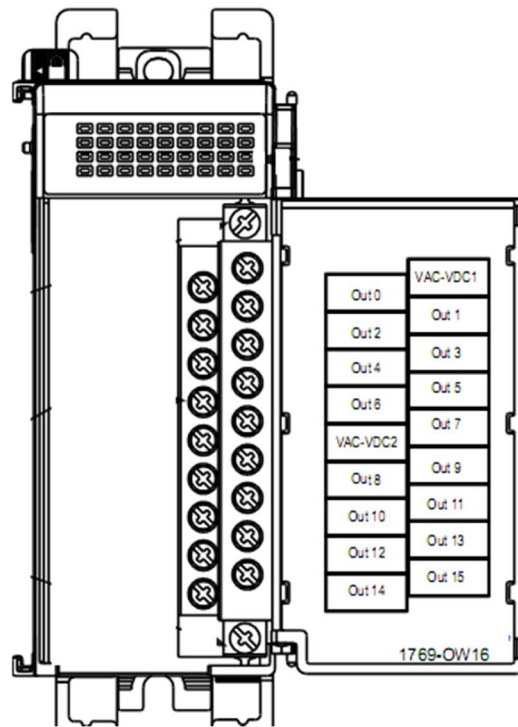
**e. Módulo de salidas a relé** Se eligió un módulo de salida a relé para aprovechar el concepto de un controlador industrial, de igual forma la marca de este es Allen Bradley de la serie 1769 – OW16. Que cuenta con dieciséis canales de salida a relé que pueden manejar AC o DC, totalmente desacoplado del mismo. Sus características eléctricas y otros aspectos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla No. 3 Especificaciones eléctricas de OW16 [10]

Especificación	1769 – OW16
Categoría de voltaje	AC/DC Relé normalmente abierto
Rango de voltaje de operación	5 a 265V AC 5 a 125V DC
Número de salidas	16
Retraso máximo a carga resistiva	Encendido – Apagado 10mS
Distancia de cobertura de fuente de poder	8 módulos
Corriente máxima por salida	2.5 A
Corriente máxima en común	10 A
Corriente máxima por modulo	20 A.
Montaje del módulo	En riel DIN o empotrado

En la Figura No.10 se muestra la estructura de los bloques terminales del módulo.

Figura No. 10 Bloque de terminales del módulo de relés OW16 [10]



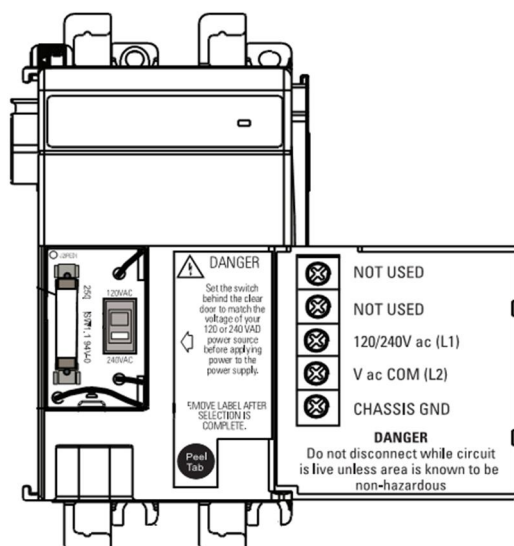
**f. Fuente de alimentación** La fuente de alimentación que se utilizó para energizar el sistema del PLC y sus módulos, fue una fuente de 24V DC marca Allen Bradley de la serie 1769 – PA2. Esta fuente de alimentación tiene la peculiaridad que puede alimentar equipo tanto del lado derecho como del izquierdo de la fuente. Las características eléctricas de la fuente se muestran en la Tabla No.4

Tabla No. 4 Especificaciones de fuente de alimentación [11]

Especificación	1769 – PA2
Rango de voltaje de entrada	85 ... 265V AC
Rango de frecuencia de entrada	47 ... 63 Hz
Distancia de cobertura de la fuente	16 módulos, 8 a la derecha y ocho a la izquierda
Consumo energético	100Va a 120V AC
Capacidad de corriente a 5V DC	2.0 A
Capacidad de corriente a 24v DC	0.8 A
Fusible de protección	15 A

En la Figura No. 11 se muestra la disposición física de la fuente de alimentación del sistema del PLC

Figura No. 11 Fuente de poder 1769 – PA2 [11]



**g. Módulo de entradas – salidas digitales** Este módulo es de entradas y/o salidas digitales, es decir que según la configuración que se le dé al módulo, este funciona como una entrada o como una salida. La activación de cada salida es independiente y se maneja en software.

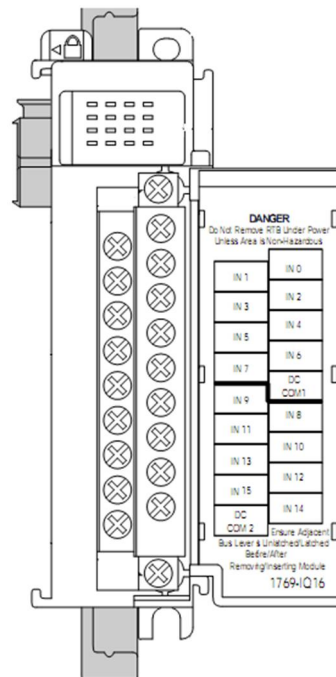
En la Tabla No. 5 se muestran las especificaciones del dispositivo que corresponden a las especificaciones eléctricas.

Tabla No. 5 Especificaciones de entradas/salidas digitales [12]

Especificación	1769 – IQ16
Categoría de voltaje	24V DC
Numero de entradas/salidas	16
Retraso de activación	8 mS
Distancia máxima hasta la fuente	8 módulos
Impedancia nominal	3 K

A continuación, en la Figura No.12 se muestra la estructura del módulo, así como sus terminales de entrada

Figura No. 12 Esquema de módulo de entradas/salidas digitales.



## 2. Dispositivos de entrada y salida

**a. Válvulas** Las válvulas utilizadas en el proyecto son de cuatro tipos: solenoides para agua fría, solenoides para agua caliente, solenoides para vapor y válvulas proporcionales electro – neumáticas. Cada una de ellas posee características únicas, las cuales responden a los requerimientos de cada líquido que esta en circulación en el sistema.

**1) Válvula solenoide para agua fría** El asiento es de FKM, un elastómero fluorocarbono inicialmente desarrollado para el manejo de gasolinas, solventes y otros combustibles. Posee una amplia compatibilidad química y tiene un rango útil de temperatura de 0 °F a 315 °F.

Las características de la válvula que está en contacto con agua fría se describen a continuación en la Tabla No. 6

Tabla No. 6 Descripción de válvula solenoide agua fría

Especificación	Parker
Marca	Parker
Serie	Skinner
Diámetro	½"
Rosca	NPT
No. Vías	2
Posición	NC
Cuerpo	Bronce
Asiento	EDPM
Bobina	24V DC
Temperatura máxima	185 °F
Uso	Uso general

**2) Válvula solenoide para agua caliente y vapor** El asiento de la válvula es de etileno propileno (EDPM), el material tiene un rango muy alto de compatibilidad con diferentes fluidos, pero no puede ser utilizado con fluidos de base petróleo. El rango de temperatura es de -10 °F a 300 °F.

Las características de la válvula que está en contacto con agua caliente y vapor se registran en la Tabla No. 7

Tabla No. 7 Descripción de válvula solenoide de agua caliente y vapor

Especificación	Parker
Marca	Parker
Serie	Skinner
Diámetro	½"
Rosca	NPT
No. Vías	2
Posición	NC
Cuerpo	Bronce
Asiento	EDPM
Bobina	24V DC
Temperatura máxima	210 °F
Uso	Vapor

**b. Medidor de flujo de área variable** El medidor de flujo de área variable seleccionado es un dispositivo que también recibe el nombre de rotámetro. Se seleccionó debido a su gran adaptación en el área electrónica ya que cuenta con múltiples salidas analógicas. A continuación se describe en la tabla No. 8 las características eléctricas y mecánicas.

Tabla No. 8 Especificaciones de rotámetro

Especificación	Sure Flow
Marca	Sure Flow
Serie	Flow meter
Diámetro	1/2"
Rosca	NPT
Posición de operación	No afecta la posición
Cuerpo	Acero inoxidable 304
Temperatura máxima	240 °F
Transmisor	Si
Señales de salida	4 – 20 mA 0 – 5 V DC 0 – 2000 Hz
Flujo mínimo	0.5 GPM
Flujo máximo	5 GPM

En la Figura No.13 se muestra el medidor – transmisor utilizado, y del cual se describieron previamente las características.

Figura No. 13 Rotámetro medidor – transmisor



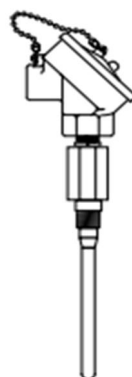
**c. Sensor de temperatura** Los sensores de temperatura utilizados son sensores de resistencia variable (RTD) y los sensores de voltaje variable (Termopar). A continuación se describen las especificaciones de cada tipo de sensor.

**1) Sensor de resistencia variable (RTD)** El sensor de resistencia variable utilizado es de marca Eurotherm – Barber – Coleman. Consiste en un medidor tipo RTD PT100 de tres hilos. Con una escala totalmente lineal respecto al cambio de temperatura, además su uso en la industria es muy grande y posee una característica muy deseada en sistemas de control industrial; la robustez.

Tabla No. 9 Características de sensor de temperatura

Especificación	Bomba
Marca	Barber - Colman
Serie	Eurotherm
Accuracy	0.10 %
Número de cables	3
Material	316 SS
Fitting de montaje	Terminador doble de SS 1/2"
Conexión salida	1/2"

Figura No. 14 Sensor de temperatura RTD



**d. Bomba centrífuga** Las bombas centrífugas utilizadas son dos bombas dedicadas para el manejo de agua específicamente; una de ellas es la que maneja el flujo de agua fría, la cual cuenta con un impeler corriente. La otra cuenta con un impeler de bronce, esta característica la hace idónea para el manejo de agua caliente.

Ambas bombas cuentan con motores monofásicos, 110V – 230V AC. En las Tablas No.10 y No.11 se describen las características eléctricas de cada una de ellas.

Tabla No. 10 Características eléctricas de bomba Star Rite

Especificación	Bomba
Marca	Sta – Rite
Serie	JHEX – 63
Alimentación	220V AC
RPM	3450
Frecuencia	60 Hz
SF	1.25
Conexión de entrada	1"
Conexión salida	1"

Tabla No. 11 Características eléctricas de bomba ESPA

Especificación	Bomba
Marca	ESPA
Serie	Prisma 25
Alimentación	115V AC
Q (lt/min)	55 – 125
Frecuencia	60 Hz
Conexión de entrada	1"
Conexión salida	1"

**3. Dispositivos de potencia** Los dispositivos utilizados para manejar la potencia del sistema fueron: guarda motores, contactores, relés, seccionador principal e interruptores termo magnéticos. A continuación se desglosan las características de cada uno de los elementos mencionados anteriormente.

**a. Guarda motores** Los guarda motores utilizados, son de una capacidad nominal de 12 amperios, estos protegen los motores de las bombas centrífugas si existe sobrecarga.

**b. Contactores** Los contactores son dispositivos de activación eléctrica, cuentan con una bobina de activación de 24V DC y sirven para energizar las bombas centrífugas. La capacidad que soportan es de 12 amperios.

**c. Relés de dos polos** Los relés de dos polos se emplearon para activar elementos finales que utilizan voltaje alterno 110V AC. La capacidad nominal máxima de corriente es de 10 amperios.

**d. Seccionador principal** El seccionador del tablero principal soporta 100 amperios, esto sirve para desenergizar todo el tablero, tanto la potencia como el control.

**e. Borneras de conexión** Para las salidas de control y de potencia se instalaron las borneras de conexión, estas cuentan con capacidad de soportar 2 amperios para señales de control, y 6 amperios para señales de potencia.

**f. Borneras de protección** Las borneras de protección son borneras con fusibles, y sirven para proteger la alimentación por sobrecarga de elementos como válvulas. Cada fusible utilizado depende de la demanda de los elementos, variando entre 1 y 6 amperios.

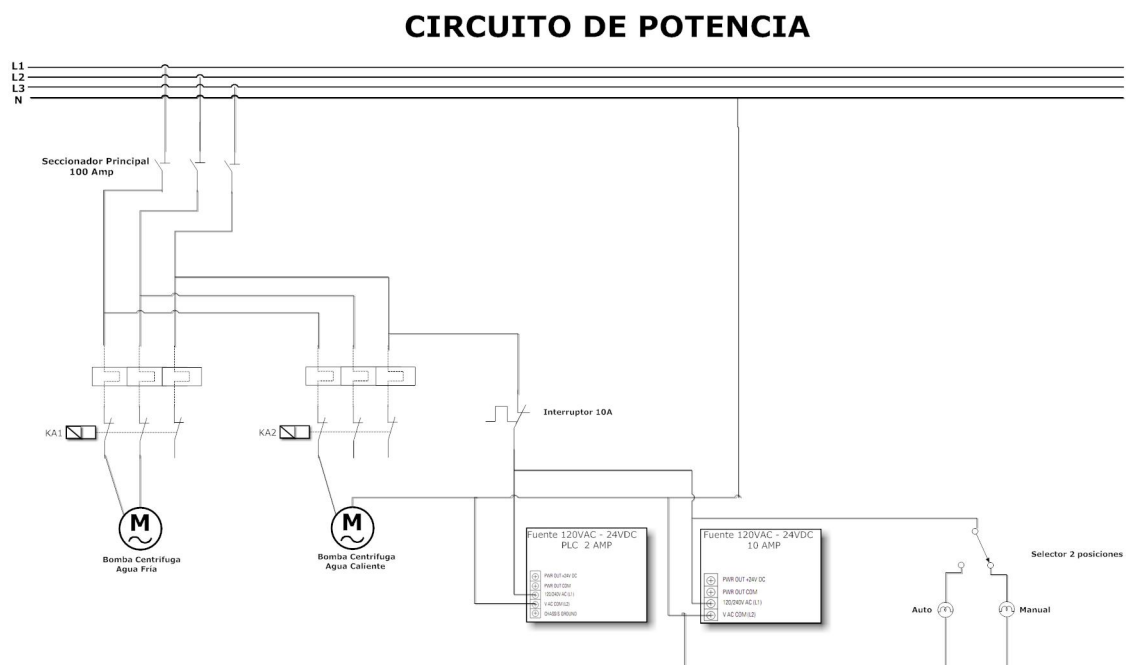
## B. Diagrama eléctrico de potencia del sistema

Los elementos seleccionados para la activación de los elementos principales del sistema se escogieron según la demanda de los componentes del sistema. Para iniciar la alimentación se colocó un seccionador principal, el cual cuenta con capacidad de 100 amperios. Este es el interruptor general, sirve para energizar o interrumpir toda la alimentación del tablero de control.

Los elementos que se distribuyen en el panel son básicamente los guarda motores, los contactores, la fuente de 24 voltios dc, y la fuente del controlador.

A continuación se presentan el diagrama eléctrico de potencia, es una abstracción de la alimentación general del tablero principal de control.

Figura No. 15 Circuito principal de alimentación



## C. Diagrama eléctrico de señales de control

Los elementos finales de control, los sensores y los medidores de temperatura se desglosan de una manera simplificada en cuestión de cableado en la Figura No. 15.

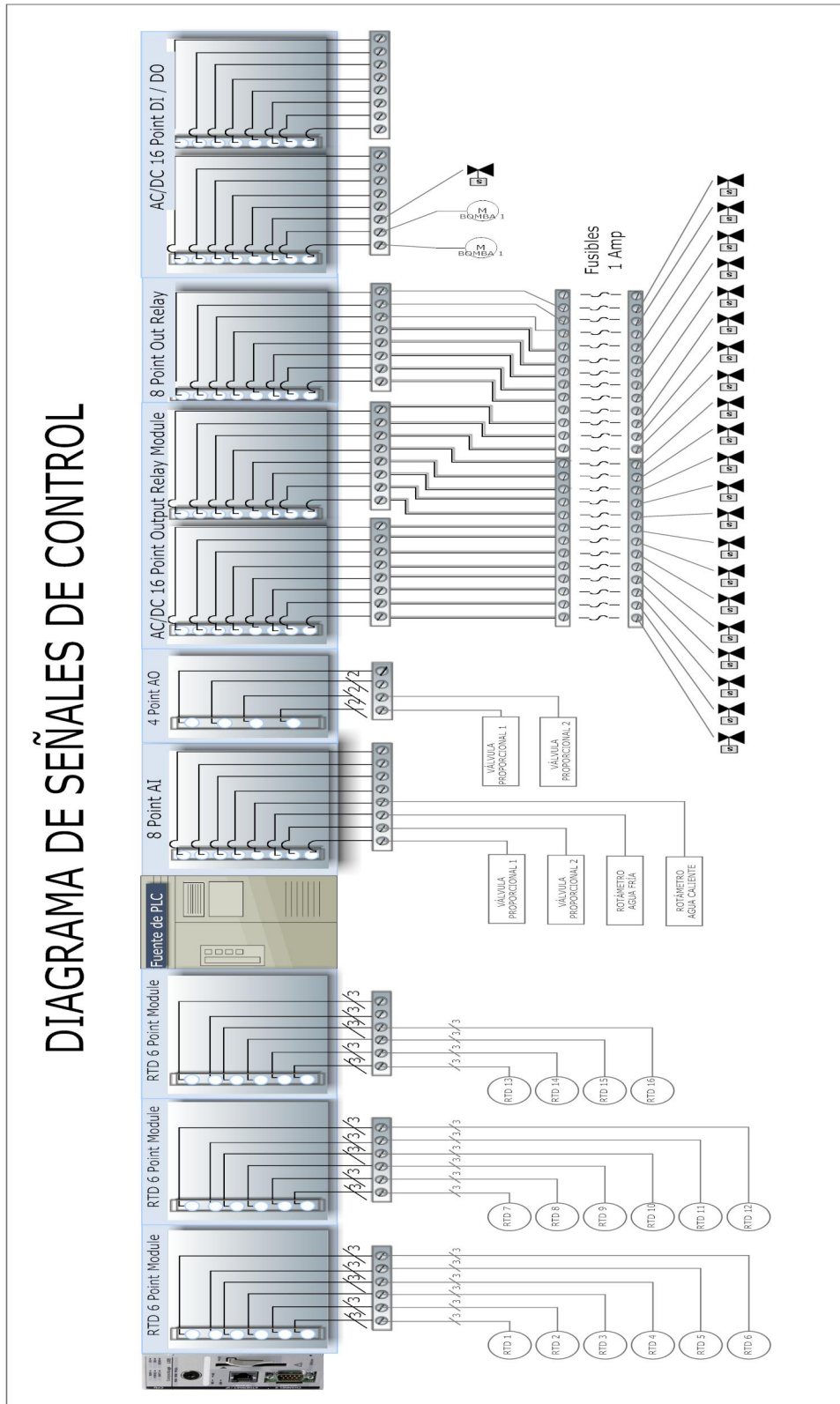
A continuación se describe el número de cables con los que cuenta cada componente, a manera de que se tenga una visión específica de los conductores que se utilizaron desde los elementos de control hasta el panel.

Tabla No. 12 Número de conductores de componentes

Componente	No. Conductores	No. Componente	Total conductores a tablero
Válvula solenoide	2	23	46
Sensor RTD	3	18	54
Sensor Termopar	2	4	8
Válvula proporcional	3	2	6
Rotámetro	3	2	6
Bomba Sta Rite	3	1	3
Bomba ESPA	3	1	3

En la siguiente figura se muestra de una forma simplificada las señales que gobiernan los elementos finales de control, como válvulas, motores, medidores de temperatura, y medidores de flujo.

Figura No. 16 Señales de control y retroalimentación



## **D. Diagrama de operación del sistema**

El diseño del diagrama del funcionamiento de los flujos del sistema se estableció tras indagar sobre las necesidades y operación deseada por las autoridades del laboratorio de operaciones unitarias de la UVG.

El diagrama se conforma por dos procesos independientes, uno de ellos es el de intercambio de calor; que involucra los intercambiadores de concha y tubos, el de placas, y el de tubos concéntricos. Mientras que el otro consiste en los condensadores de vapor.

Para el caso de los intercambiadores de calor el sistema tiene cuatro modos de operación, tres consisten en el funcionamiento independiente de cada intercambiador, y el cuarto consiste en hacer funcionar los tres intercambiadores en línea.

Los tres intercambiadores se encuentran configurados para que operen en modo de contra flujo, que es en donde se obtiene la mayor eficiencia de transferencia de calor del sistema. En la Figura No. 16 se muestra el diagrama final de diseño que se obtuvo luego de unificar criterios electrónicos y químicos.

En las tablas que se presentan a continuación se muestran los estados de cada válvula, para los diferentes modos de operación mencionados.

Tabla No. 13 Estado de válvulas intercambiador tubos concéntricos

<b>Caso 1: Intercambiador de tubos concéntricos</b>	
<b>Válvula</b>	<b>Estado</b>
Válvula vapor	Activada
Válvula proporcional agua fría	Activada
Válvula proporcional agua caliente	Activada
Válvula 1	Encendida
Válvula 2	Apagada
Válvula 3	Encendida
Válvula 4	Apagada
Válvula 5	Encendida
Válvula 6	Apagada
Válvula 7	Apagada
Válvula 8	Encendida
Válvula 9	Apagada
Válvula 10	Apagada
Válvula 11	Encendida
Válvula 12	Apagada
Válvula 13	Apagada
Válvula 14	Encendida
Válvula 15	Apagada
Válvula 16	Encendida
Válvula 17	Apagada
Válvula 18	Encendida
Válvula 19	Apagada
Válvula 20	Apagada
Válvula 21	Apagada
Válvula 22	Apagada
Bomba agua caliente	Encendida
Bomba agua fría	Encendida

Tabla No. 14 Estado de válvulas intercambiador concha y tubos

<b>Caso 2: Intercambiador de concha y tubos</b>	
<b>Válvula</b>	<b>Estado</b>
Válvula proporcional vapor	Activada
Válvula proporcional agua fría	Activada
Válvula proporcional agua caliente	Activada
Válvula 1	Apagada
Válvula 2	Encendida
Válvula 3	Apagada
Válvula 4	Encendida
Válvula 5	Apagada
Válvula 6	Encendida
Válvula 7	Apagada
Válvula 8	Encendida
Válvula 9	Apagada
Válvula 10	Apagada
Válvula 11	Encendida
Válvula 12	Apagada
Válvula 13	Encendida
Válvula 14	Apagada
Válvula 15	Encendida
Válvula 16	Apagada
Válvula 17	Encendida
Válvula 18	Apagada
Válvula 19	Apagada
Válvula 20	Apagada
Válvula 21	Apagada
Válvula 22	Apagada
Bomba agua caliente	Encendida
Bomba agua fría	Encendida

Tabla No. 15 Estado de válvulas intercambiador de placas

<b>Caso 3: Intercambiador de placas</b>	
<b>Válvula</b>	<b>Estado</b>
Válvula proporcional vapor	Activada
Válvula proporcional agua fría	Activada
Válvula proporcional agua caliente	Activada
Válvula 1	Encendida
Válvula 2	Apagada
Válvula 3	Apagada
Válvula 4	Encendida
Válvula 5	Apagada
Válvula 6	Apagada
Válvula 7	Apagada
Válvula 8	Encendida
Válvula 9	Encendida
Válvula 10	Encendida
Válvula 11	Apagada
Válvula 12	Apagada
Válvula 13	Encendida
Válvula 14	Apagada
Válvula 15	Apagada
Válvula 16	Apagada
Válvula 17	Encendida
Válvula 18	Encendida
Válvula 19	Apagada
Válvula 20	Apagada
Válvula 21	Apagada
Válvula 22	Apagada
Bomba agua caliente	Encendida
Bomba agua fría	Encendida

Tabla No. 16 Estado de válvulas de intercambiadores en serie

<b>Caso 4: Intercambiadores en serie</b>	
<b>Válvula</b>	<b>Estado</b>
Válvula proporcional vapor	Activada
Válvula proporcional agua fría	Activada
Válvula proporcional agua caliente	Activada
Válvula 1	Encendida
Válvula 2	Apagada
Válvula 3	Encendida
Válvula 4	Encendida
Válvula 5	Apagada
Válvula 6	Encendida
Válvula 7	Encendida
Válvula 8	Apagada
Válvula 9	Encendida
Válvula 10	Encendida
Válvula 11	Apagada
Válvula 12	Encendida
Válvula 13	Encendida
Válvula 14	Apagada
Válvula 15	Encendida
Válvula 16	Encendida
Válvula 17	Apagada
Válvula 18	Encendida
Válvula 19	Apagada
Válvula 20	Apagada
Válvula 21	Apagada
Válvula 22	Apagada
Bomba agua caliente	Encendida
Bomba agua fría	Encendida

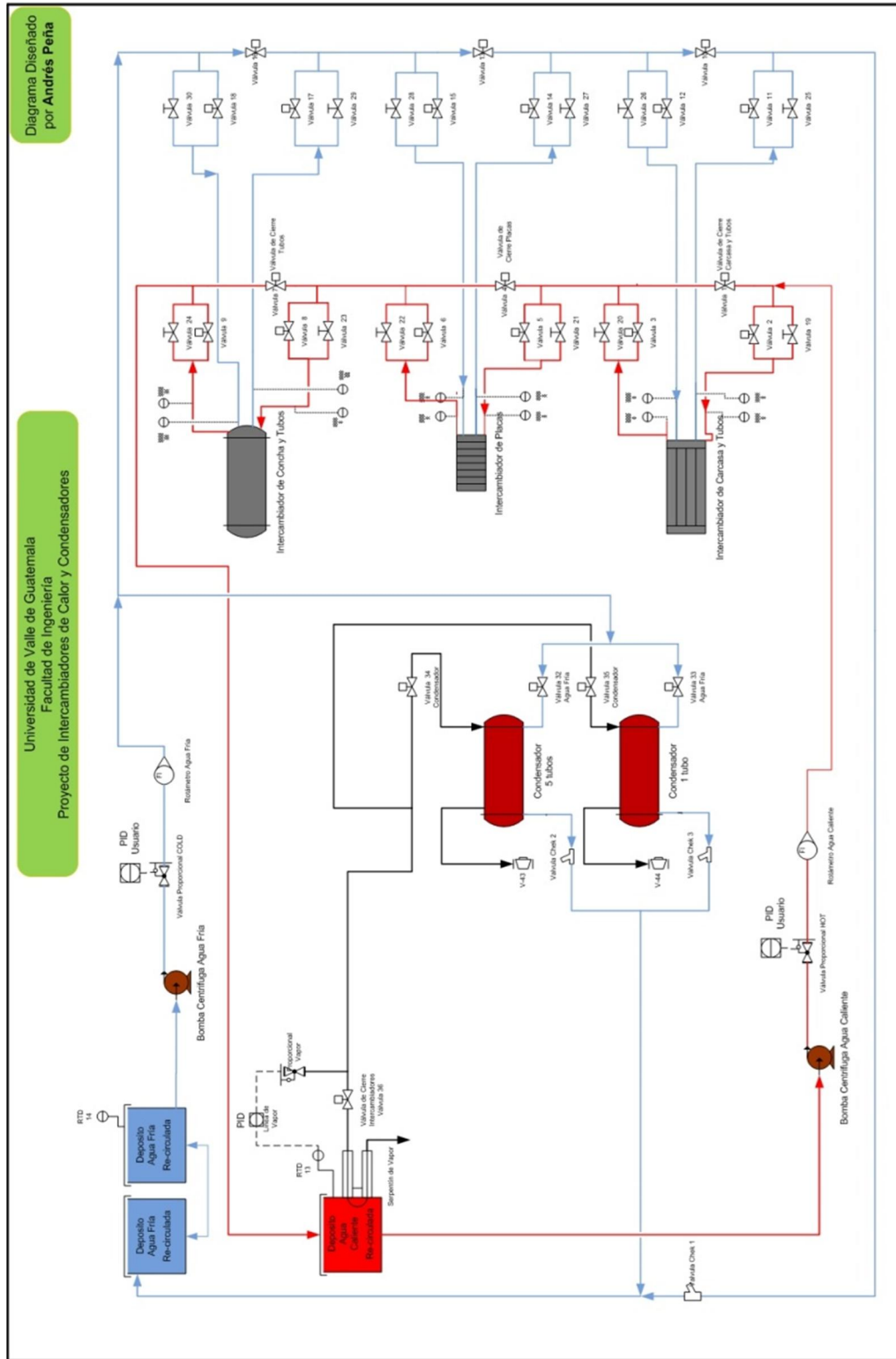
Tabla No. 17 Estado de válvulas condensador de un tubo

<b>Caso 5: Condensador 1 tubo</b>	
<b>Válvula</b>	<b>Estado</b>
Válvula proporcional vapor	Activada
Válvula proporcional agua fría	Activada
Válvula proporcional agua caliente	Desactivada
Válvula 1	Apagada
Válvula 2	Apagada
Válvula 3	Apagada
Válvula 4	Apagada
Válvula 5	Apagada
Válvula 6	Apagada
Válvula 7	Apagada
Válvula 8	Apagada
Válvula 9	Apagada
Válvula 10	Apagada
Válvula 11	Apagada
Válvula 12	Apagada
Válvula 13	Apagada
Válvula 14	Apagada
Válvula 15	Apagada
Válvula 16	Apagada
Válvula 17	Apagada
Válvula 18	Apagada
Válvula 19	Encendida
Válvula 20	Encendida
Válvula 21	Apagada
Válvula 22	Apagada
Bomba agua caliente	Apagada
Bomba agua fría	Encendida

Tabla No. 18 Estado de válvulas condensador de cinco tubos

<b>Caso 6: Condensador 5 tubos</b>	
<b>Válvula</b>	<b>Estado</b>
Válvula proporcional vapor	Activada
Válvula proporcional agua fría	Activada
Válvula proporcional agua caliente	Desactivada
Válvula 1	Apagada
Válvula 2	Apagada
Válvula 3	Apagada
Válvula 4	Apagada
Válvula 5	Apagada
Válvula 6	Apagada
Válvula 7	Apagada
Válvula 8	Apagada
Válvula 9	Apagada
Válvula 10	Apagada
Válvula 11	Apagada
Válvula 12	Apagada
Válvula 13	Apagada
Válvula 14	Apagada
Válvula 15	Apagada
Válvula 16	Apagada
Válvula 17	Apagada
Válvula 18	Apagada
Válvula 19	Apagada
Válvula 20	Apagada
Válvula 21	Encendida
Válvula 22	Encendida
Bomba agua caliente	Apagada
Bomba agua fría	Encendida

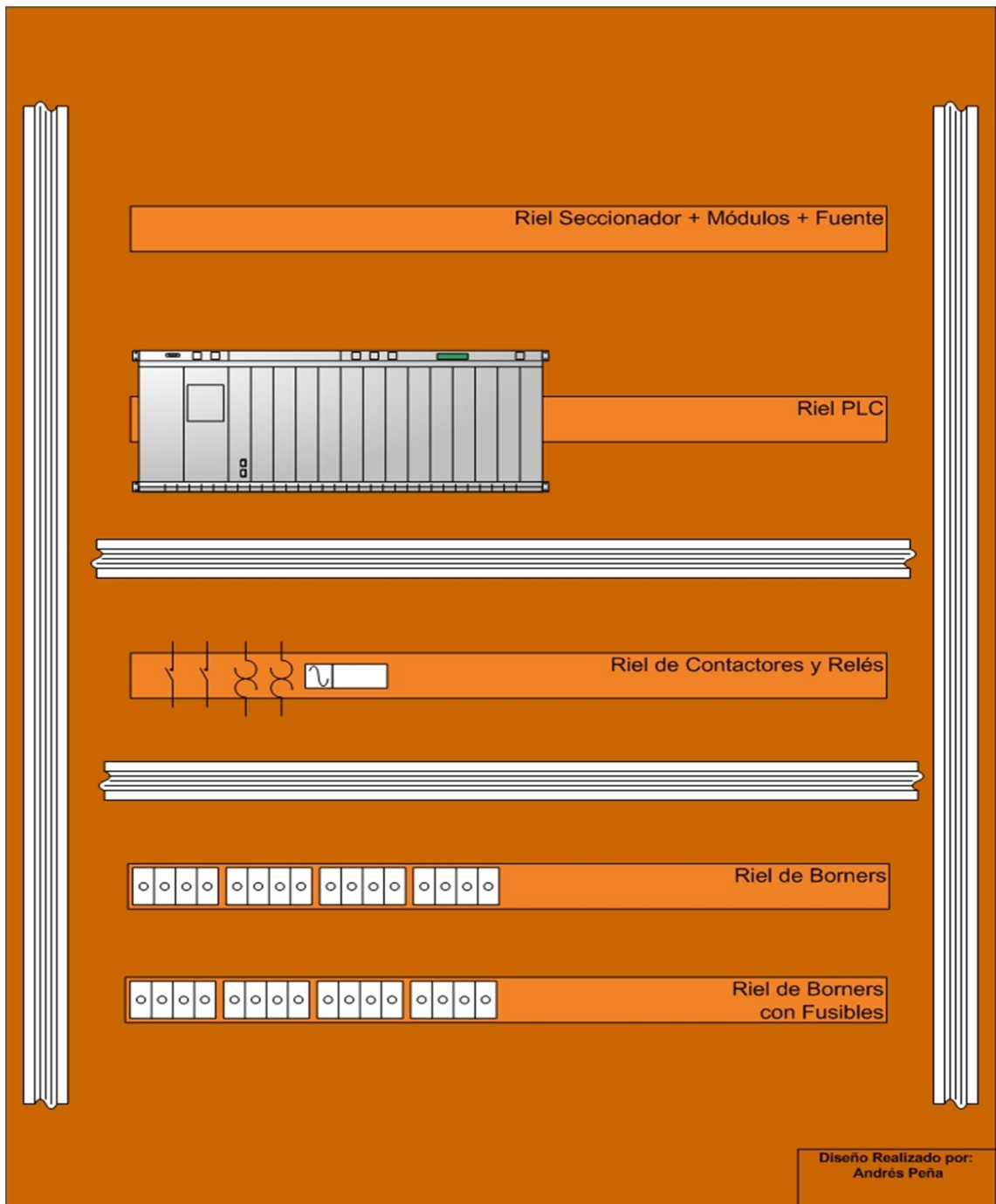
Figura No. 17 Diagrama de operación de flujo



## E. Diagrama de componentes de panel de control

En la siguiente figura se muestra la idea del diseño y disposición de componentes del panel de control.

Figura No. 18 Esquema de diseño de tablero de control



## **VIII. RESULTADOS**

A continuación se presentan los resultados según se construyó el sistema. En cada etapa se muestra la implementación física del sistema.

### **A. Estructura y equipos**

En esta etapa se construyó la estructura metálica que contiene los equipos, y luego de su construcción se procedió al montaje de los mismos.

En la Figura No. 19 se presenta la estructura metálica que se construyó.

Figura No. 19 Estructura metálica



En la Figura No. 20 se muestra la estructura con los equipos montados.

Figura No. 20 Estructura y equipos



## **B. Tubería y accesorios**

En las Figuras No. 21, No. 22, No. 23, No. 24 se muestra la instalación de tubería y accesorios para interconectar los equipos.

En la Figura No. 21 se puede observar una parte de la instalación de tubería, también se puede apreciar la instalación y disposición de algunos sensores y válvulas.

Figura No. 21 Tubería y accesorios instalados



### **C. Intercambiadores de calor**

En la Figura No.22, Figura No. 23 y Figura No. 24, se muestran los equipos de intercambio de calor instalados, estos son: intercambiador de tubos concéntricos, intercambiador de tubos concéntricos e intercambiador de placas.

Figura No. 22 Intercambiador de tubos concéntricos

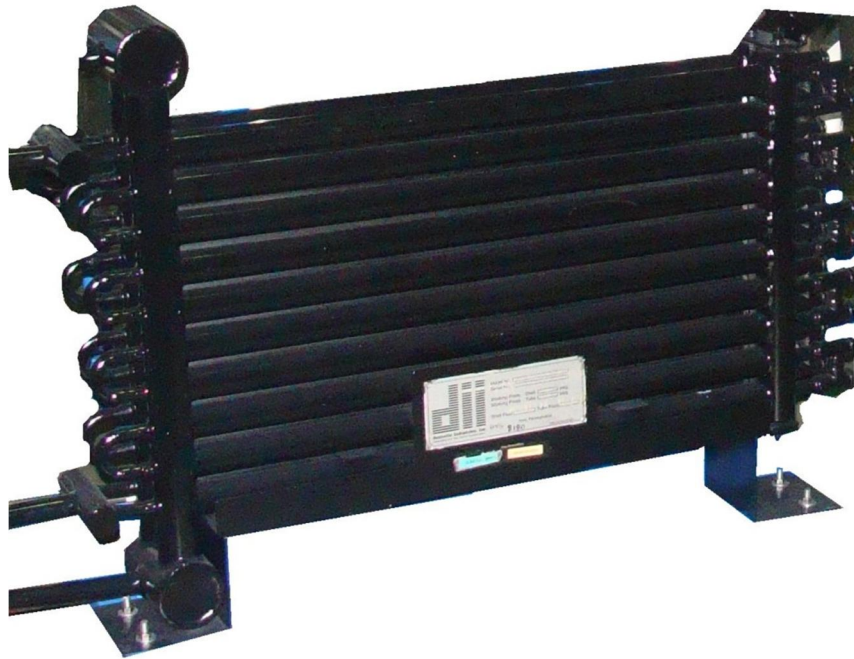


Figura No. 23 Intercambiador de concha y tubos



Figura No. 24 Intercambiador de placas



## D. Panel de control

Se muestra en la Figura No.25 el panel de control que contiene los componentes eléctricos y electrónicos.

Figura No. 25 Tablero de control



## E. Controlador de lógica programable

En la figura que se muestra a continuación se presenta el controlador PLC y sus módulos.

Figura No. 26 Procesador con módulos



## F. Contactores y guarda - motores

Se presenta los equipos de potencia en la Figura No. 28 que se utilizaron para proteger y activar el equipo de potencia.

Figura No. 27 Contactores con guarda - motor



## G. Borneras de conexión

Se muestran en la Figura No. 29 las borneras de conexión que sirven de puente entre las entradas y salidas y el controlador.

Figura No. 28 Borneras de conexión al proceso

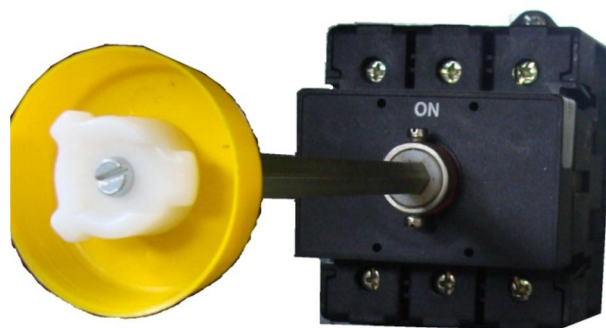


## H. Seccionador principal

El seccionador principal seleccionado sirve para interrumpir la alimentación general del tablero de control; este tiene capacidad de conducción de cien amperios.

En la Figura No. 29 se muestra el seccionador instalado en el tablero de control.

Figura No. 29 Seccionador de tablero



## I. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación seleccionada es de marca Telemecanique, convierte la alimentación monofásica 110 V AC en alimentación de corriente directa 24 V DC. En la Figura No. 31 se muestra la fuente instalada en el tablero de control.

Figura No. 30 Fuente de corriente directa



## J. Borneras de protección

Las borneras de protección se instalaron con el objetivo de evitar una sobrecarga en la fuente de corriente directa en el momento de un corto circuito o algún problema eléctrico en las bobinas de las válvulas solenoides.

En la Figura No. 32 se muestran la bornera de protección con fusibles instalada en el tablero de control.

Figura No. 31 Borneras con fusibles





El programa que se desarrolló basado en este esquema general de secuencia lógica se encuentra en la sección de apéndice A y apéndice B, en estas secciones se encuentran los tags o etiquetas que se utilizaron para desarrollar dicho programa y el código en lenguaje de escalera y de texto estructurado.

## L. Interfaz gráfica

La interfaz humano máquina (HMI por sus siglas en inglés) se desarrollo utilizando el programa Factory Talk View ME propiedad de Allan Bradley. En dicha interfaz se programaron siete pantallas que sirven para operar el equipo. La descripción de las pantallas y la función de cada una de ellas se describen a continuación en la siguiente tabla.

Tabla No. 19 Pantallas de interfaz gráfica

Número de pantalla	Nombre de pantalla	Función de pantalla
1	INICIO	Esta pantalla es la que se presenta al usuario al momento de iniciar la aplicación. En esta se presentan los distintos modos de operación del equipo.
2	Intercambiador de tubos concéntricos	En esta pantalla se encuentran un esquema del intercambiador en mención así como sus temperaturas y las válvulas que se utilizan.
3	Intercambiador de concha y tubos	En esta pantalla se encuentran un esquema del intercambiador en mención así como temperaturas y las válvulas que se utilizan.
4	Intercambiador de placas	En esta pantalla se encuentran un esquema del intercambiador en mención así como sus temperaturas y las válvulas que se utilizan.
5	Intercambiadores en serie	En esta pantalla se encuentran un esquema de los intercambiadores en mención así como sus temperaturas y las válvulas que se utilizan.
6	Condensador de 1 tubo	En esta pantalla se encuentran un esquema del condensador en mención así como sus temperaturas y las válvulas que se utilizan.
7	Condensador de 5 tubos	En esta pantalla se encuentran un esquema del condensador en mención así como sus temperaturas y las válvulas que se utilizan.
8	Visión General del Proceso	Muestra el estado de todos los componentes.

En las siguientes figuras se muestran las pantallas que se describieron en la Tabla número 19.

Figura No. 33 Pantalla uno del HMI

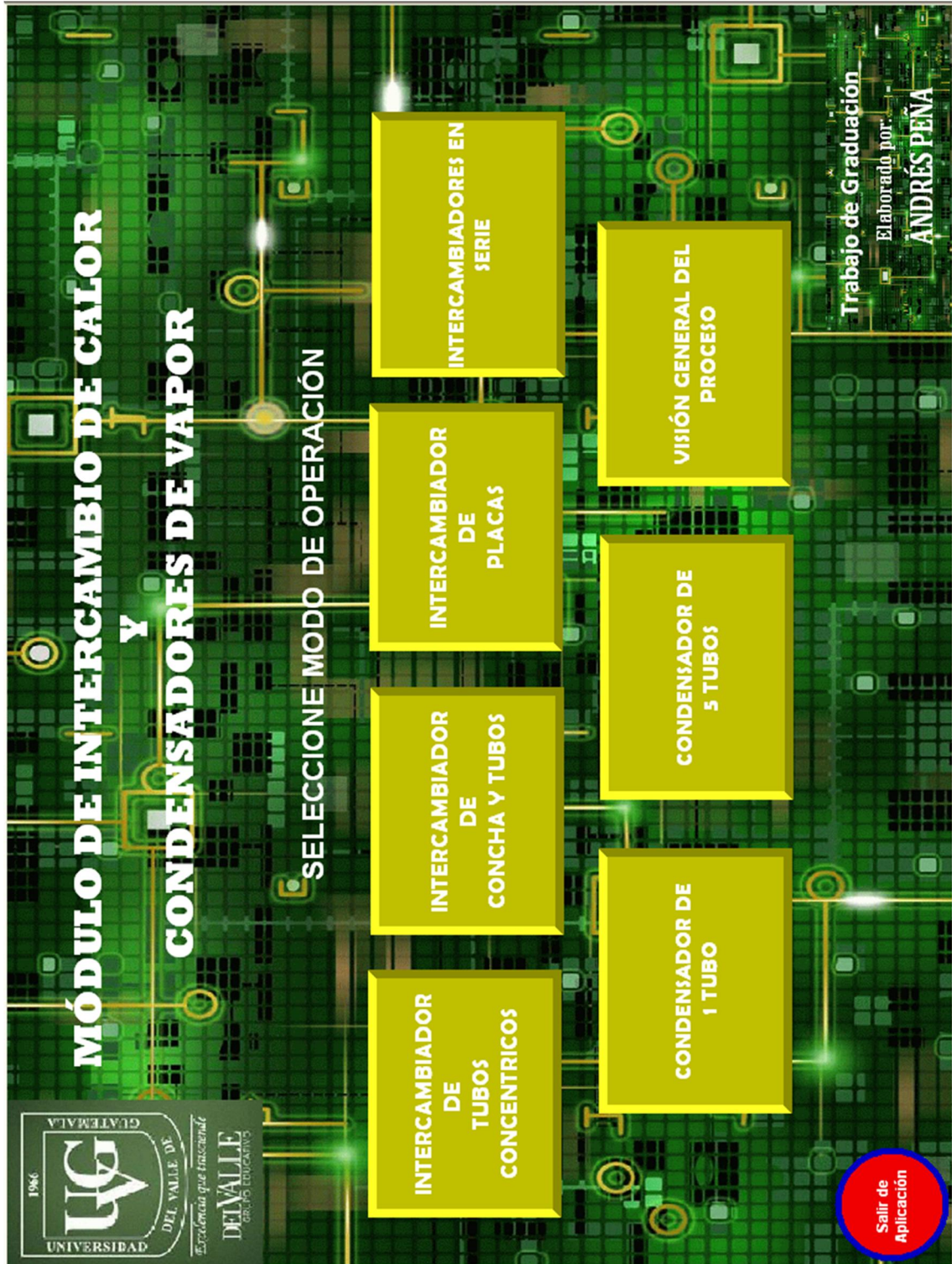


Figura No. 34 Pantalla dos HMI

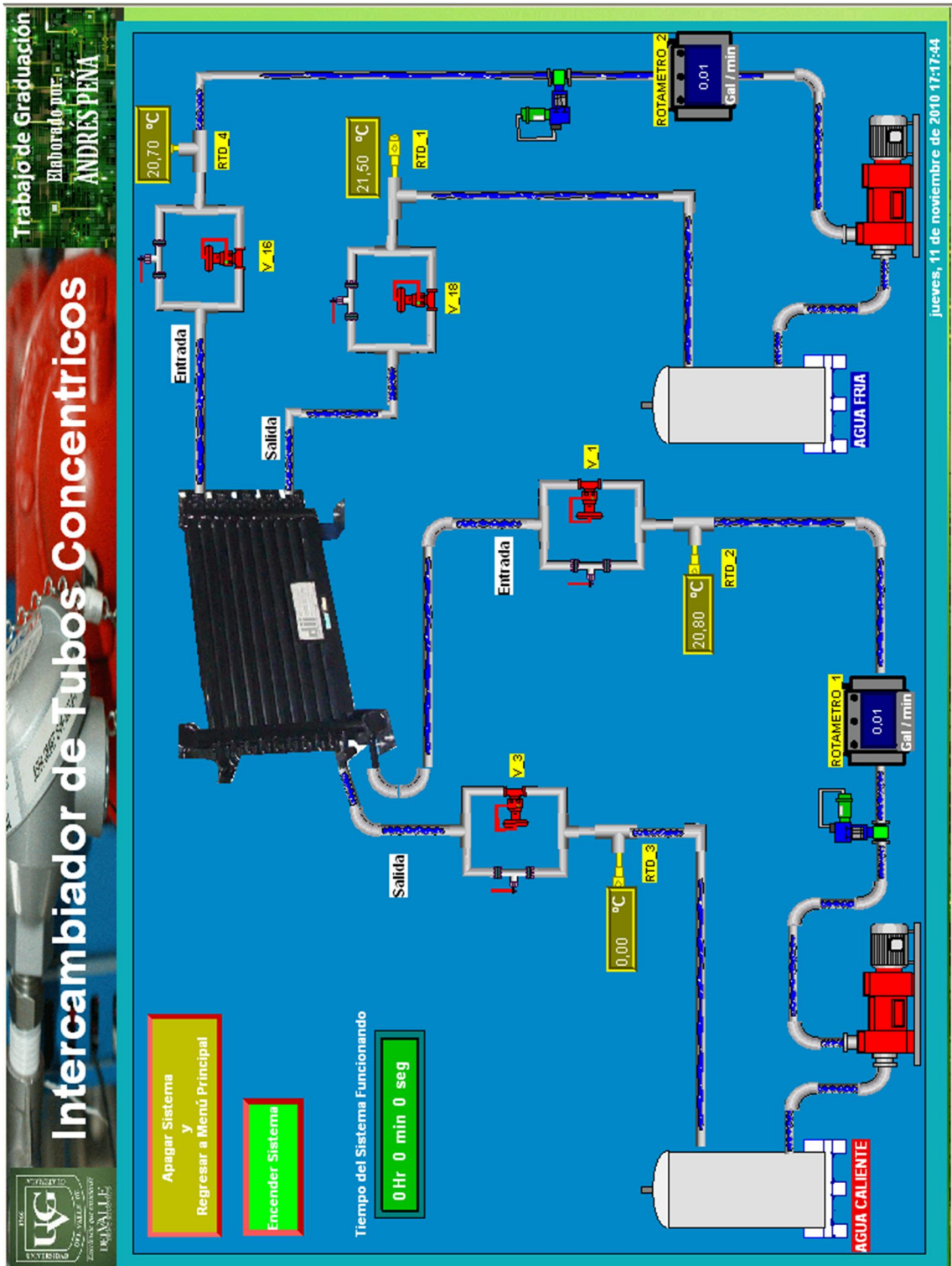
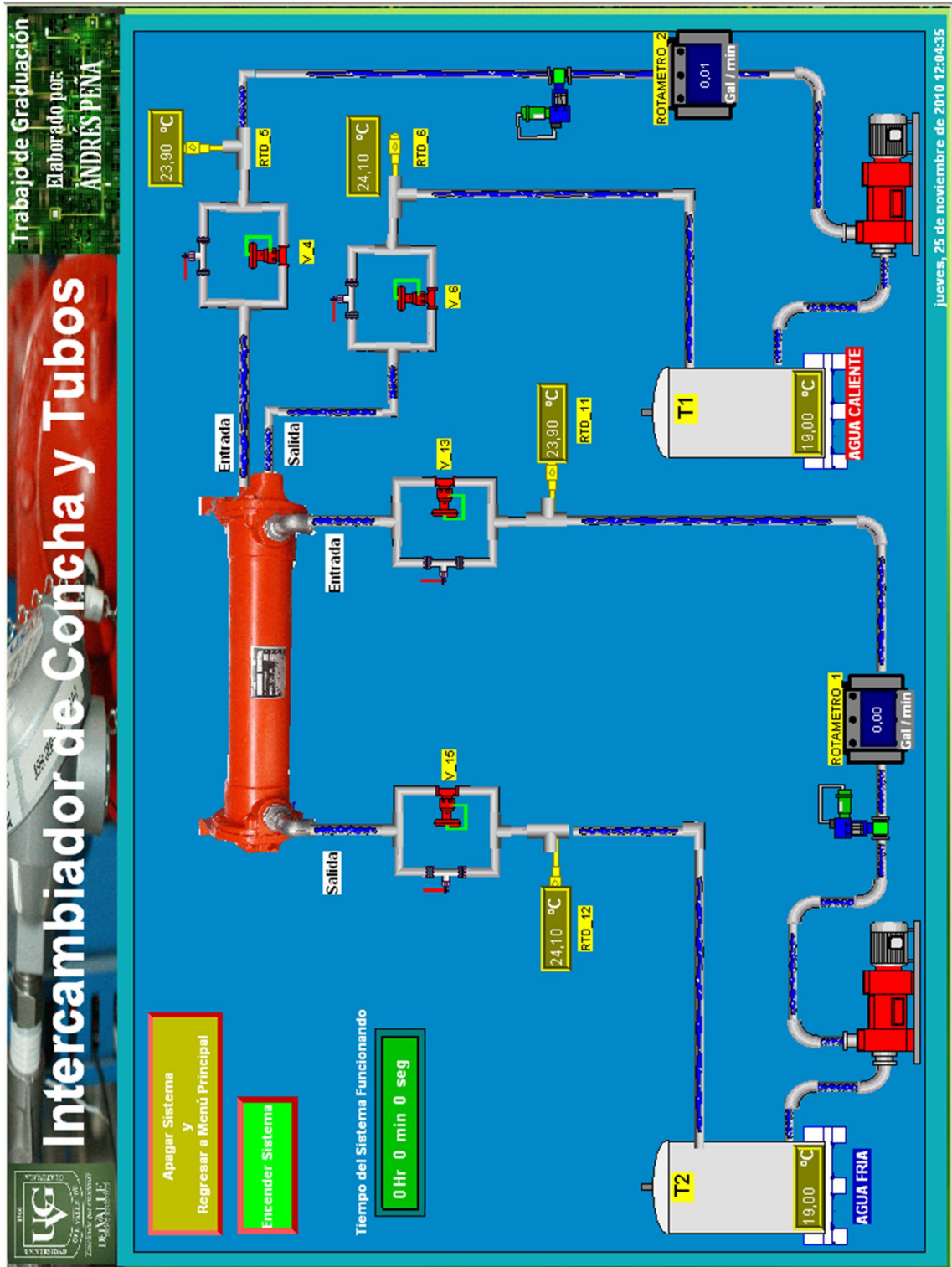


Figura No. 35 Pantalla tres HMI



Trabajo de Graduación  
 Elaborado por:  
**ANDRÉS PENA**  
**Intercambiador de Concha y Tubos**  
 UG  
 UNIVERSIDAD  
 DE VALLE

jueves, 25 de noviembre de 2010 12:04:35

Figura No. 36 Pantalla cuatro HMI

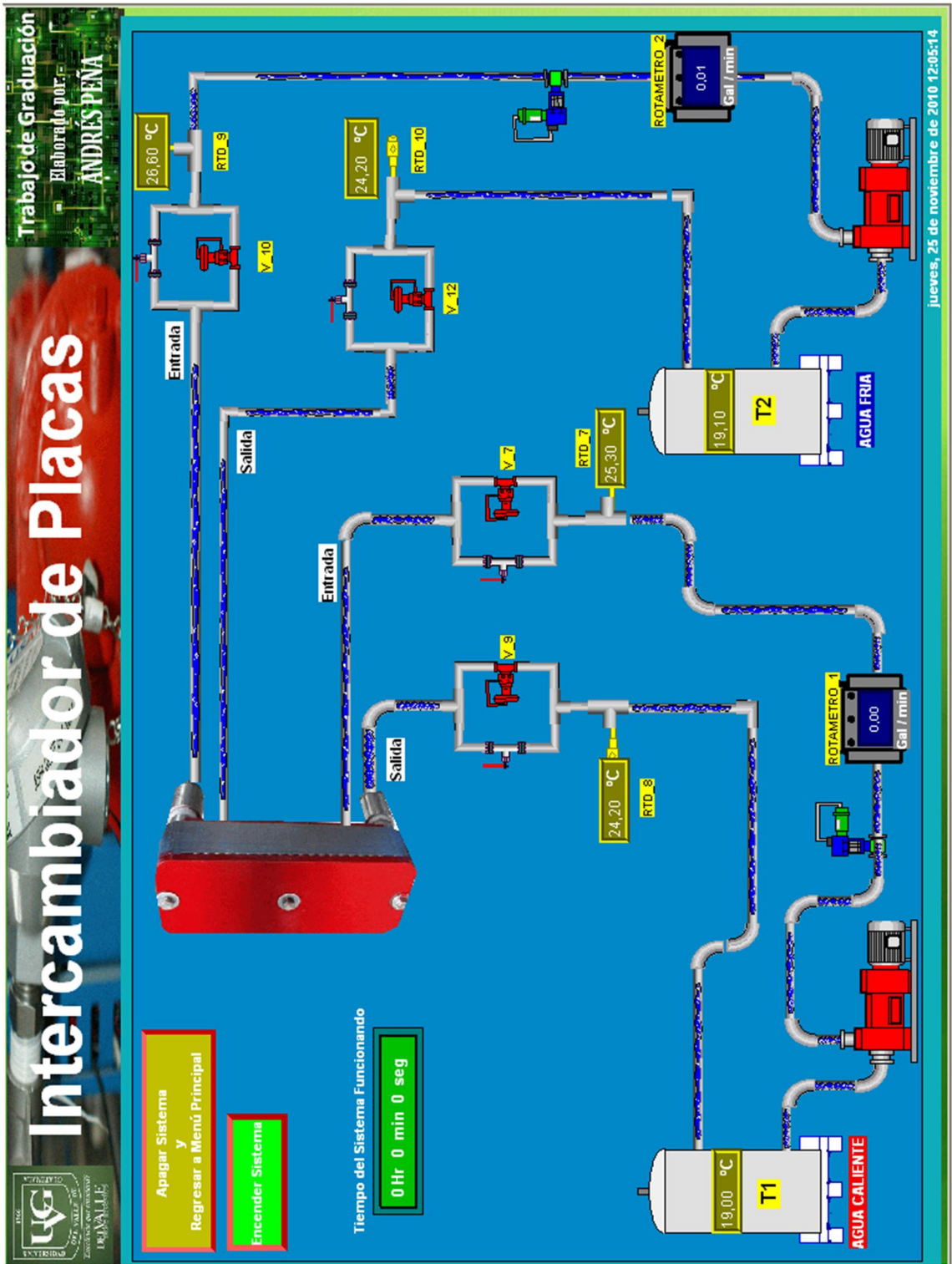


Figura No. 37 Pantalla cinco HMI

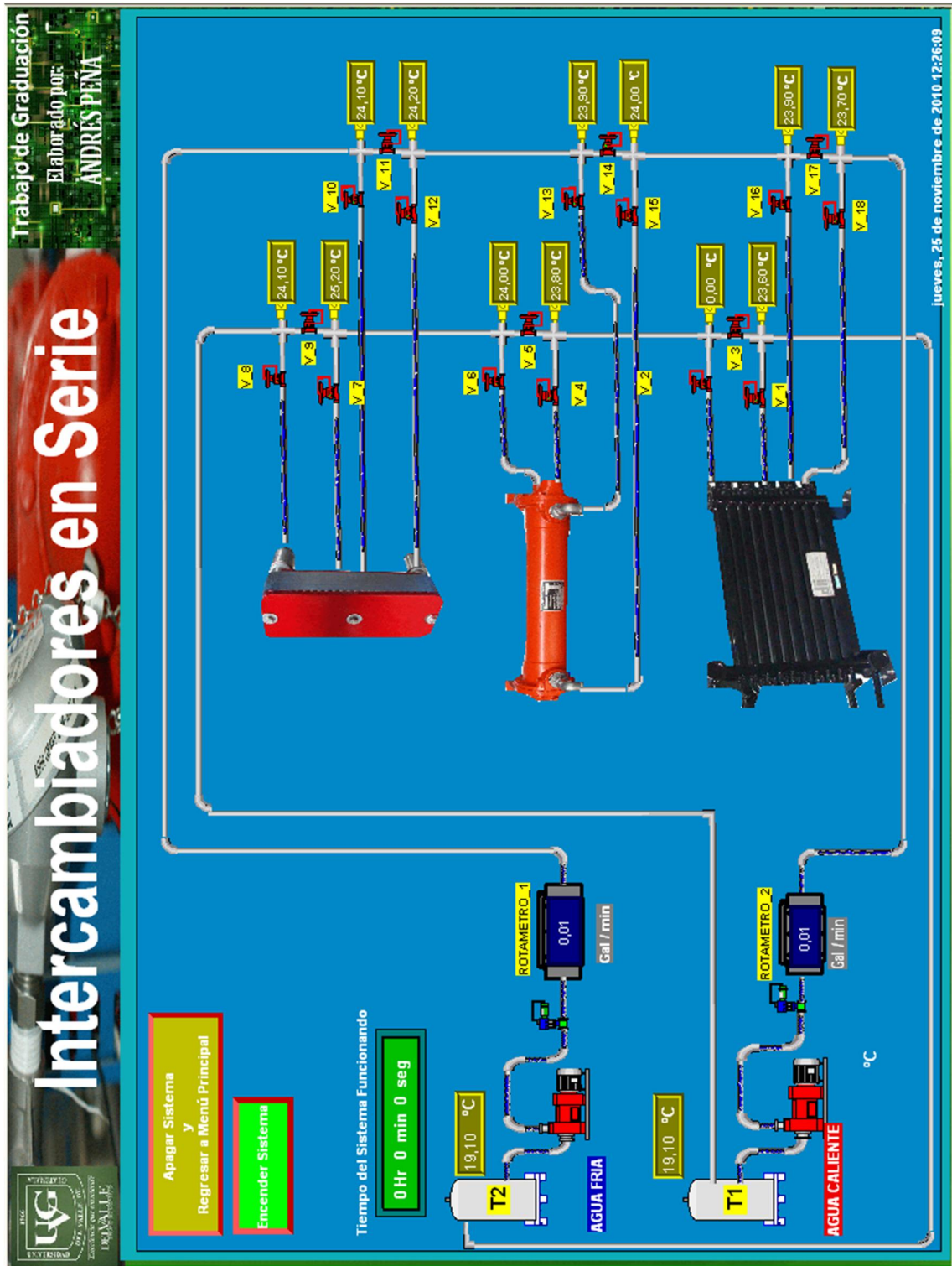


Figura No. 38 Pantalla seis HMI

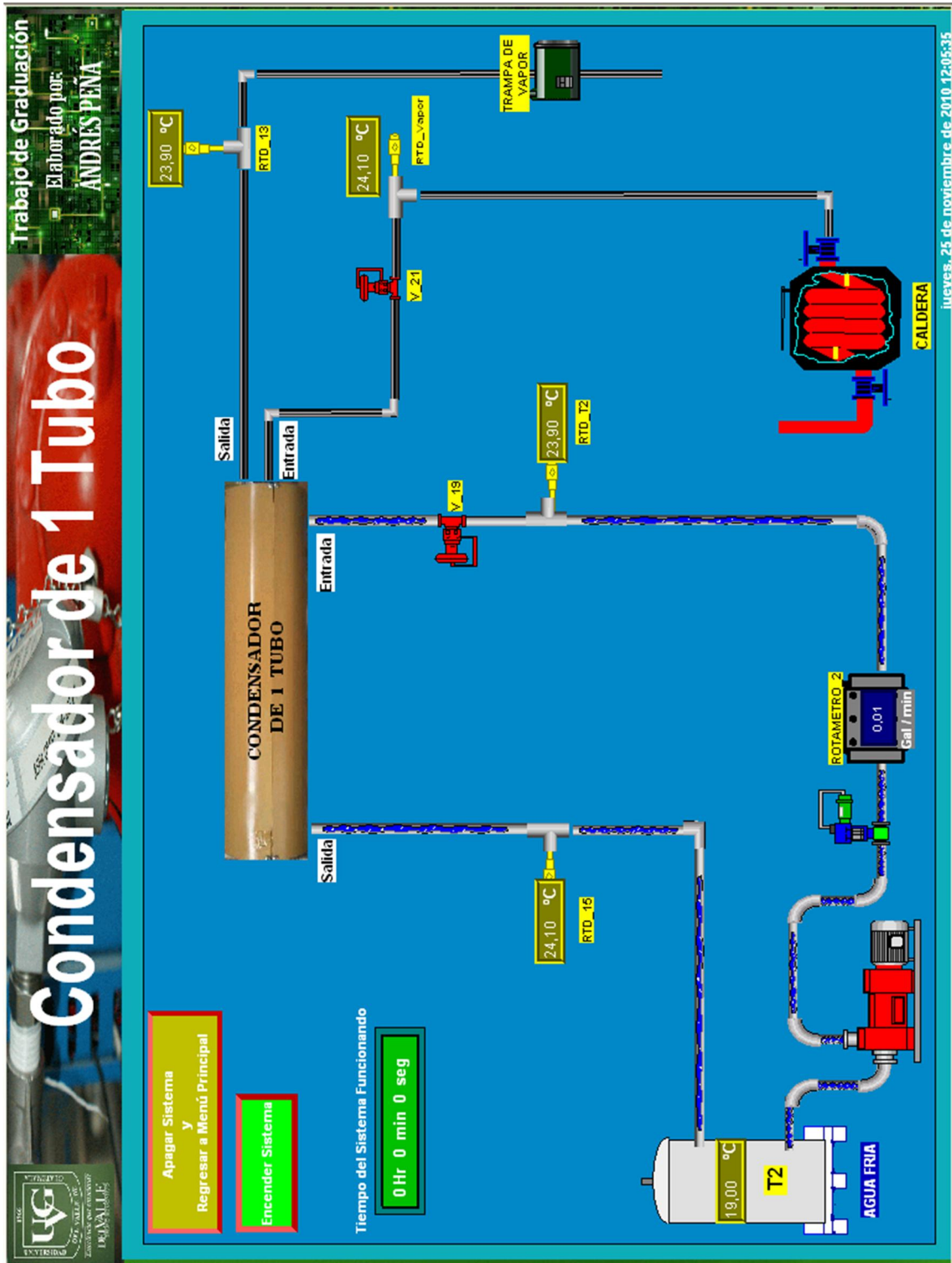


Figura No. 39 Pantalla siete HMI

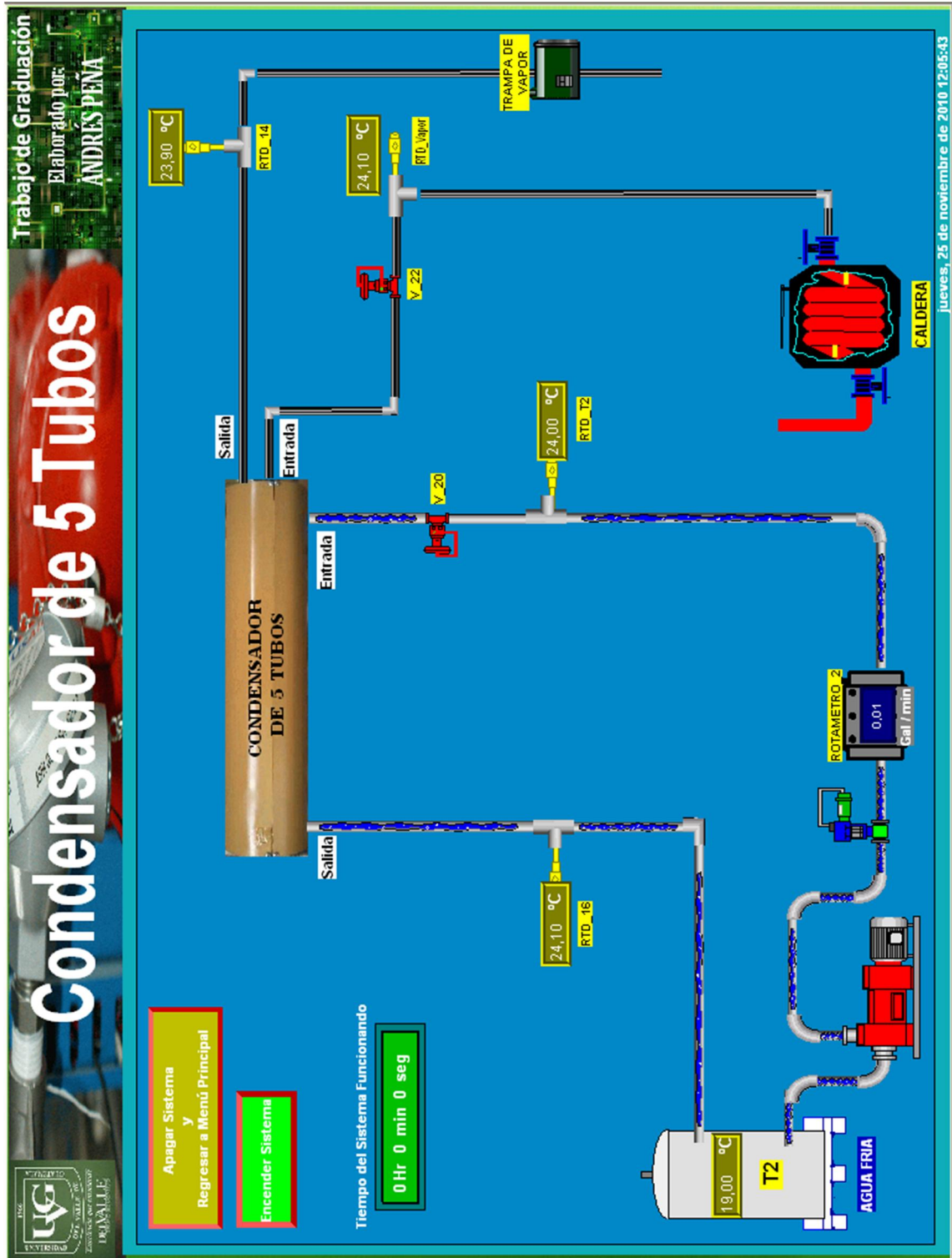
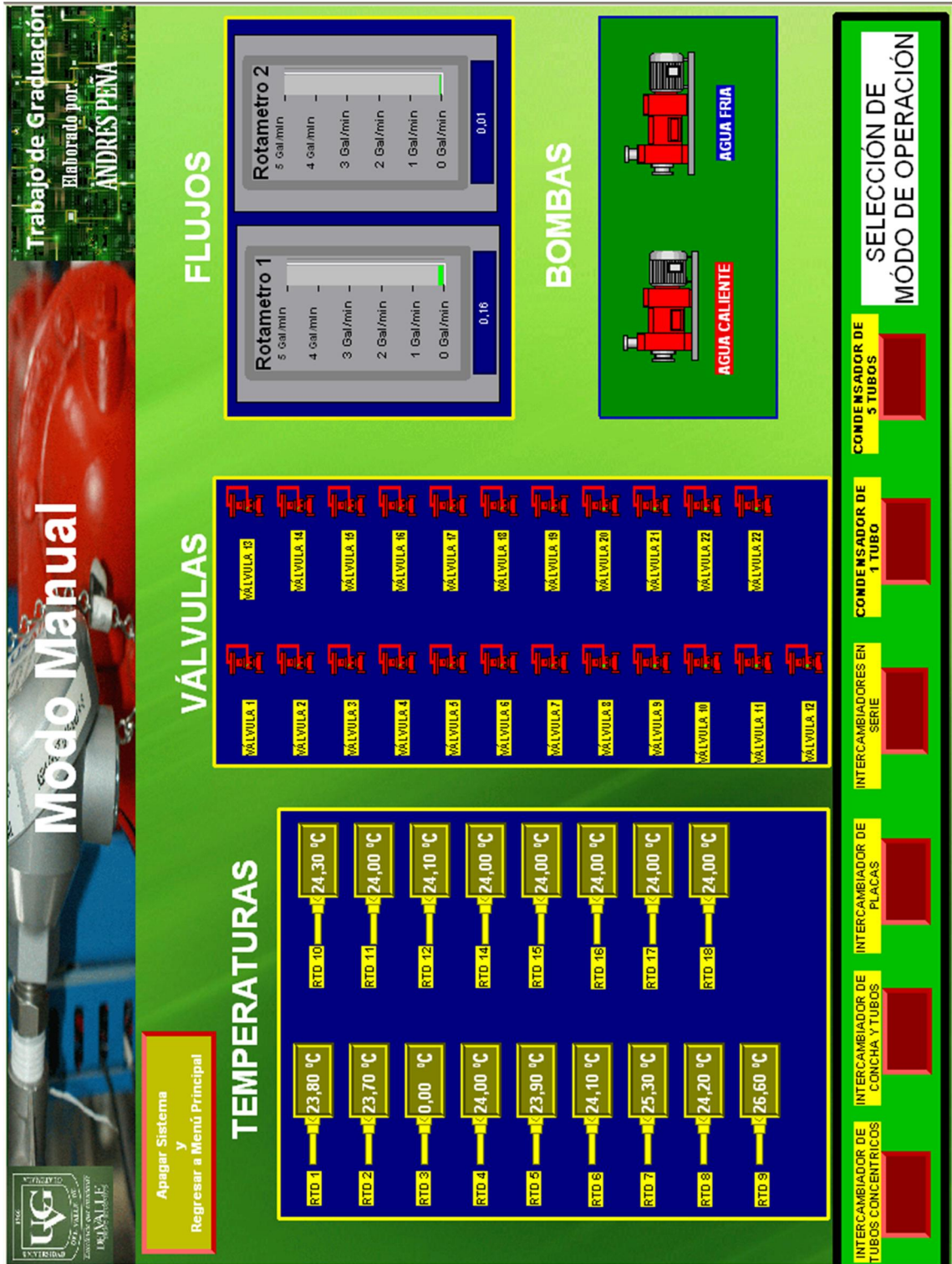


Figura No. 40 Pantalla ocho HMI



## **IX. DISCUSIÓN**

El diseño de la estructura metálica se dimensionó para que ésta contuviera los equipos que se deseaban montar. Las medidas de dicha estructura son de 2.55 metros de largo, 1.70 metros de alto, y 1.3 metros de profundidad. El marco de la estructura se construyó con perfil cuadrado de dos pulgadas, para los soportes de equipos vario el tamaño del perfil utilizado en el rango de una pulgada a dos pulgadas. La disposición de estos últimos es consecuencia de las exigencias mecánicas que cada uno de ellos requería.

La tubería que se utilizó para todo el fluido es de acero inoxidable de media pulgada de diámetro. Esta decisión se tomó en conjunto con el ingeniero químico del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG. La razón de esta selección se debió a que con este tipo de tubería se protege en general al sistema del oxido que se pudiera formar por contacto constante de la tubería con agua. Al hacer esto, además de lograr lo mencionado, se logra prolongar el periodo de vida de toda la instrumentación electrónica y de los elementos finales de control.

En lo que respecta al montaje de válvulas solenoides, éstas fueron en su mayoría colocadas en un circuito de tubería denominado bypass, este ultimo cumple la función de poder seleccionar la utilización de una válvula manual o bien una solenoide. Se procedió a implementarlo de dicha forma por diseño global del proyecto, ya que este puede operar en modo manual o automático.

Los sensores de temperatura de resistencia variable se colocaron en cada entrada y salida de los intercambiadores de calor. Cada intercambiador de calor y cada condensador de vapor consta de dos entradas y dos salidas. Los sensores se colocaron en dicha posición para garantizar una lectura de temperatura correcta y en donde el fluido se encontrara en su fase inmediata después del proceso de intercambio de calor.

Las válvulas proporcionales que manejan el flujo de agua caliente así como de agua fría se instalaron a una distancia aproximada de un metro de la salida de las bombas, cabe mencionar que surgió la necesidad de colocar una válvula de paso; esto con el objetivo de limitar el flujo máximo de ingreso al sistema. La distancia a la que se colocaron las válvulas es la recomendada por los fabricantes. Con esta distancia se garantiza evitar el proceso natural de turbulencia en cualquier caudal.

Siguiendo un orden en la disposición de equipos los medidores de flujo se colocaron justo después de las válvulas proporcionales. Tomando en consideración las especificaciones técnicas que sugerían una distancia mínima de cuatro diámetros de la última caída de presión. Esta sugerencia, al igual que con las válvulas es para que evitar el proceso de turbulencia, que en este caso es aún más crítico; al tratarse de un equipo de medición de área variable, que al contar con un flujo irregular causara una medición incorrecta.

Las bombas centrífugas de tiene un caudal máximo de operación sin carga de 18 galones / minuto teóricamente. Al momento de entrar al sistema debido a las caídas de presión que los diversos equipos inducen al proceso, se tiene una caída de presión de 9 galones / minuto. Este caudal se limita con las válvulas manuales de paso para que el mismo sea de 5 galones / minuto. Al realizar este estrangulamiento del caudal, se garantiza el rango máximo que permiten los medidores de flujo.

El sistema completo es de ciclo cerrado como se mencionó en el diseño experimental, esto se implementó así para re utilizar todo el fluido y con esto hacer del mismo un proceso que aprovecha energía y recursos. Para el caso de agua fría que sirve para el enfriamiento del agua caliente, llega un punto en que se pone en equilibrio con la temperatura del agua caliente. En este punto se hizo necesario dejar una salida de los recipientes de agua fría a la torre de enfriamiento. Con esto se sigue utilizando la misma agua, solamente que se envía a enfriar para que siga siendo útil en el proceso de intercambio de calor.

El panel de control se diseñó para que en él se encontraran dispuestos los dispositivos de control, así como los de potencia. Los elementos que se utilizaron fueron descritos en la sección de diseño experimental, y allí se justificó el uso de cada uno de ellos.

La alimentación de las bobinas de las válvulas solenoides se hizo a 24V DC. El motivo de esto, es que se tiene una señal más limpia y controlada de alimentación. La misma está sujeta a menores variaciones en comparación a una alimentación en corriente alterna. Esto garantiza una mejor y más prolongada operación de los dispositivos.

Para proteger la fuente de alimentación de los actuadores finales que utilizan 24V DC, se procedió a diseñar y construir una placa de fusibles. El uso de los mismos se hizo necesario ya que al momento en que una bobina de dichos actuadores tuviera problemas eléctricos, se abre el fusible y no afecta a otros componentes ni a la fuente misma.

El tendido de líneas que transportan señales de control tanto para las válvulas como para los sensores de temperatura, se realizó con cable calibre 18 American Wire Gauge (AWG). Éste soporta una corriente máxima de 14 amperios. Con esto se tiene un margen superior del consumo de los solenoides de las válvulas, que no exceden el medio amperio. Además con esta configuración, se garantiza que el sistema de los cables no se caliente si es por periodos largos la utilización de la línea.

Para los sensores de temperatura, como se mencionó, se utilizó el mismo calibre de cable por razones eléctricas, ya que este cable tiene una menor resistencia que un cable de calibre mas pequeño.

La alimentación del tablero de control es trifásica, los equipos utilizados son todos monofásicos. Para tener en balance el sistema eléctrico, dos de las tres líneas manejan los circuitos de potencia, y la sobrante sirve como alimentación de los equipos de control.

Se utilizó dos sistemas distintos y separados para guiar las señales eléctricas. Para el caso de las señales de control de retro alimentación y de activación de actuadores finales como válvulas, se utilizó una canal plástica sumí – abierta; ahora para las señales de alimentación de los equipos de potencia como las bombas centrífugas, se utilizó tubería de aluminio de tres cuartos de pulgada. Esta tubería es cerrada completamente, pero en las curvas y uniones se encuentra abierta, siguiendo con esto un estándar tipo europeo para señales y líneas de potencia.

La tubería de vapor se instaló de hierro negro de media pulgada. Esta tubería sirve para alimentar el serpentín de vapor que calienta el agua, y la tubería que alimenta a los condensadores de vapor. Todo el tramo de la tubería mencionada, se protegió con cañuela para evitar perdida de calor y protección al usuario del módulo.

El programa para el control del sistema completo se desarrolló utilizando el lenguaje de escalera y texto estructurado, esto se realizó así ya que se tiene un mejor control y secuencia lógica de los estados de los actuadores. Para esto se utilizó una rutina principal encargada de mandar a llamar a subrutinas que contienen básicamente banderas que cambian su estado dependiendo la necesidad predefinida al momento de llamarla. En el caso de las entradas analógicas los datos se tienen siempre en los registros de los módulos, por lo que se utilizó una subrutina que es llamada siempre en la rutina principal para ajustar y escalar los datos entregados por dichos módulos. Por ultimo en la rutina principal se manda a llamar a una subrutina que activa las salidas basadas en los estados de las banderas activadas en las subrutinas secundarias mencionadas.

Para la interfaz humano máquina se realizó una pantalla de inicio que da al usuario la posibilidad de seleccionar el modo de operación del intercambiador de tubos concéntricos, el intercambiador de concha y tubos, el intercambiador de placas, el juego de intercambiadores en serie, el condensador de 1 tubo, y el condensador de 5 tubos.

Cada una de estas pantallas permite al usuario activar el sistema que secciono mediante un botón de arranque, al hacer esto el usuario tiene la posibilidad de ver las temperaturas asociadas al proceso, así como la apertura de las válvulas que se activan en el modo seleccionado, le permite además ver el estado de las bombas y los flujos en el sistema

## **X. CONCLUSIONES**

- Se logró la integración de los distintos procesos de intercambio de calor con los que cuenta el laboratorio de operaciones unitarias de Ing. Química de la Universidad del Valle de Guatemala
- Se implementaron técnicas de control automático de procesos e instrumentación industrial al módulo de intercambio de calor.
- El control centralizado para los componentes del sistema se llevó a cabo usando un controlador de lógica programable, Compact Logix 1769 - L35E y su programación en bloques secuenciales, texto estructurado y diagrama de escalera.
- Se logró la implementación de los modos de operación individual y conjunta para ambos procesos que se encontraban ligados en el sistema.
- Se implementó la interfaz humano - máquina de una forma agradable para el usuario.

## **XI. RECOMENDACIONES**

### **A. Para nuevas implementaciones**

- Motivar la automatización de otras unidades de operación del laboratorio de operaciones unitarias de la UVG.
- Considerar la implementación de una red industrial en el laboratorio para ir adicionado módulos de control a un mando centralizado.
- Continuar utilizando equipo de control industrial en las futuras implementaciones para que los estudiantes tengan un acercamiento real al ámbito industrial actual.

### **B. Para el uso del equipo**

- Poner en marcha al sistema al menos una vez al mes para que no se deterioren por falta de uso los equipos.
- Drenar el material utilizado para el intercambio de calor cada vez que se concluya una práctica, para que el sistema quede limpio y no acumule líquido durante mucho tiempo.
- No permitir que personal no autorizado realice modificaciones al sistema físico, i.e. tuberías, válvulas, sensores, etc.
- Realizar mantenimiento al menos dos veces al año al equipo de instrumentación y control.
- Que el usuario final sea instruido adecuadamente antes de poder utilizar el sistema.

## XII. BIBLIOGRAFÍA

- [11] Allan Bradley. 2010. *Compact I/O Expansion Power Supplies*. Julio 2010 [Online]. Disponible en URL: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in028\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in028_-en-p.pdf)
- [10] Allan Bradley. 2010. *Compact 16-Point AC/DC Relay Output Module*. Julio 2010 [Online]. Disponible en URL: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in062\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in062_-en-p.pdf)
- [8] Allan Bradley. 2010. *Compact 1769-IF8 Analog Input Module*. Julio 2010 [Online]. Disponible en URL: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in067\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in067_-en-p.pdf)
- [12] Allan Bradley. 2010. *Compact 24V dc Sink/Source Input Module*. Julio 2010 [Online]. Disponible en URL: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in007\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in007_-en-p.pdf)
- [9] Allan Bradley. 2010. *Compact I/O 1769-IR6 RTD/Resistance Input Module*. Julio 2010 [Online]. Disponible en URL: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um005\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um005_-en-p.pdf)
- [7] Allan Bradley. 2010. *CompactLogix Controllers Specifications*. Julio 2010 [Online]. Disponible en URL: <http://www.rockwellautomation.com/literature/>
- [3] Creus, Antonio. 2009. *Instrumentación Industrial*. 7ª ed. México, MARCOMBO. 224 págs.
- [1] Emerson. 2010. *Válvulas de Solenoide*, Manual Técnico de Válvula. Julio 2010 [Online]. Disponible en URL: <http://www.emersonflowcontrols.com.mx>
- [4] Ferraro, Alan. 2010. *How to Recover Heat with Plate Coil Heat Exchangers* Process Heating. Abril 2010. [Online]. Disponible en URL: [http://www.processheating.com/ph/cda/articleinformation/features/bnp\\_\\_features\\_\\_item/0,3156,14189,00.html](http://www.processheating.com/ph/cda/articleinformation/features/bnp__features__item/0,3156,14189,00.html)
- [6] Kern, Donald. 2002. *Procesos de transferencia de calor*. 31ª ed. México, CECSA. 345 págs.

[2] Piedrafita, Moreno Ramon. 2000. *Ingeniería de la Automatización*. 5<sup>ta</sup> ed. México, AlfaOmega. 203 pág.

[5] Renovaclean. 2010. *Intercambiadores de Placas*. Técnicas Industriales Septiembre 2010 [Online]. Disponible en URL: <http://www.limpiezastecnicasindustriales.com/images/intercambiadordplacas1.png>

## **XIII. APÉNDICE**

## APÉNDICE A: TABLA DE TAGS DE PROGRAMA DEL PLC

Tabla No. 20 Primera tabla de tags del controlador

Nombre	Tipo de dato	Alias para	Descripción
ALARMAS	BOOL	No aplica	Bit que se usa en el HMI para indicar que existió una alarma
Apagar_Equipo	BOOL	No aplica	Bandera que sirve para mandar a llamar a la subrutina de apagado
Concéntricos_WORK	BOOL	No aplica	Bandera que sirve para mandar a llamar a la subrutina de Concéntricos
Concha_y_Tubos_WORK	BOOL	No aplica	Bandera que sirve para mandar a llamar a la subrutina de Concha y Tubos
Condensador_1_WORK	BOOL	No aplica	Bandera que sirve para mandar a llamar a la subrutina de Condensador de 1 tubo
Codensador_5_WORK	BOOL	No aplica	Bandera que sirve para mandar a llamar a la subrutina de Condensador de 5 tubos
Contador_1	COUNTER	No aplica	Contador para reloj interno
Contador_2	COUNTER	No aplica	Contador para reloj interno
Contador_Ciclo_de_Trabajo	COUNTER	No aplica	Bit que sirve para activar un timer que sirve como cronometro del tiempo de operación
Paro_de_Emergencia	BOOL	Local:1:I.Data.0	Entrada digital que indica si se presiono el paro de emergencia desde desde el Tablero
Placas_Work	BOOL	No aplica	Bandera que sirve para mandar a llamar a la subrutina de Placas
Rotámetro_1_MAX	BOOL	No aplica	Bit que me indica si ya llego al máximo caudal permitido el Rotámetro 1
Rotámetro_1_MIX	BOOL	No aplica	Bit que me indica si ya el caudal permitido es mínimo el Rotámetro 1
Rotámetro_2_MAX	BOOL	No aplica	Bit que me indica si ya llego al máximo caudal permitido el Rotámetro 2
Rotámetro_2_MIN	BOOL	No aplica	Bit que me indica si ya el caudal permitido es mínimo el Rotámetro 2
Serie_WORK	BOOL	No aplica	Bandera que sirve para mandar a llamar a la subrutina de Intercambiadores en Serie
Timer_1	TIMER	No aplica	Timer para manejo de tiempos internos
Bomba_ESPA	BOOL	Local:4:O.Data.7	Tag para salida del módulo 4:O:7 para activar la Bomba de agua fría ESPA
Bomba_STARITE	BOOL	Local:4:O.Data.6	Tag para salida del módulo 4:O:6 para activar la Bomba de agua caliente STARITE
ESPA	BOOL	No aplica	Bandera Bomba ESPA
STARITE	BOOL	No aplica	Bandera Bomba STARITE
Val_1	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 1
Val_2	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 2
Val_3	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 3
Val_4	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 4
Val_5	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 5

Nombre	Tipo de dato	Alias para	Descripción
Val_6	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 6
Val_7	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 7
Val_8	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 8
Val_9	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 9
Val_10	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 10
Val_11	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 11
Val_12	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 12
Val_13	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 13
Val_14	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 14
Val_15	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 15
Val_16	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 16
Val_17	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 17
Val_18	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 18
Val_19	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 19
Val_20	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 20
Val_21	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 21
Val_22	BOOL	No aplica	Bandera de Válvula 22
Valvula_1	BOOL	Local:3:O. Data.0	Tag para salida del módulo 3:O:0 para activar la válvula 1
Valvula_2	BOOL	Local:3:O. Data.1	Tag para salida del módulo 3:O:1 para activar la válvula 2
Valvula_3	BOOL	Local:3:O. Data.2	Tag para salida del módulo 3:O:2 para activar la válvula 3
Valvula_4	BOOL	Local:3:O. Data.3	Tag para salida del módulo 3:O:3 para activar la válvula 4
Valvula_5	BOOL	Local:3:O. Data.4	Tag para salida del módulo 3:O:4 para activar la válvula 5
Valvula_6	BOOL	Local:3:O. Data.5	Tag para salida del módulo 3:O:5 para activar la válvula 6
Valvula_7	BOOL	Local:3:O. Data.6	Tag para salida del módulo 3:O:6 para activar la válvula 7
Valvula_8	BOOL	Local:3:O. Data.7	Tag para salida del módulo 3:O:7 para activar la válvula 8
Valvula_9	BOOL	Local:3:O. Data.8	Tag para salida del módulo 3:O:8 para activar la válvula 9
Valvula_10	BOOL	Local:3:O. Data.9	Tag para salida del módulo 3:O:9 para activar la válvula 10
Valvula_11	BOOL	Local:3:O. Data.10	Tag para salida del módulo 3:O:10 para activar la válvula 11
Valvula_12	BOOL	Local:3:O. Data.11	Tag para salida del módulo 3:O:11 para activar la válvula 12
Valvula_13	BOOL	Local:3:O. Data.12	Tag para salida del módulo 3:O:12 para activar la válvula 13
Valvula_14	BOOL	Local:3:O. Data.13	Tag para salida del módulo 3:O:13 para activar la válvula 14
Valvula_15	BOOL	Local:3:O. Data.14	Tag para salida del módulo 3:O:14 para activar la válvula 15
Valvula_16	BOOL	Local:3:O. Data.15	Tag para salida del módulo 3:O:15 para activar la válvula 16
Valvula_17	BOOL	Local:4:O. Data.0	Tag para salida del módulo 4:O:0 para activar la válvula 17
Valvula_18	BOOL	Local:4:O. Data.1	Tag para salida del módulo 4:O:1 para activar la válvula 18
Valvula_19	BOOL	Local:4:O. Data.2	Tag para salida del módulo 4:O:2 para activar la válvula 19
Valvula_20	BOOL	Local:4:O. Data.3	Tag para salida del módulo 4:O:3 para activar la válvula 20

Nombre	Tipo de dato	Alias para	Descripción
Valvula_21	BOOL	Local:4:O. Data.4	Tag para salida del módulo 4:O:4 para activar la válvula 21
Valvula_22	BOOL	Local:4:O. Data.5	Tag para salida del módulo 4:O:5 para activar la válvula 22
TEMP_1	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD1
TEMP_2	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD2
TEMP_3	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD3
TEMP_4	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD4
TEMP_5	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD5
TEMP_6	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD6
TEMP_7	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD7
TEMP_8	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD8
TEMP_9	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD9
TEMP_10	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD10
TEMP_11	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD11
TEMP_12	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD12
TEMP_13	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD13
TEMP_14	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD14
TEMP_15	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD15
TEMP_16	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD16
TEMP_17	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD17
TEMP_18	REAL	No aplica	Temperatura escalada del RTD18
RTD_1	INT	Local:5:I.C h0Data	Dato del Sensor RTD1 de Salida de Agua de enfriamiento del Intercambiador de Tubos Concéntricos
RTD_2	INT	Local:5:I.C h1Data	Dato del Sensor RTD2 de Entrada de Agua Caliente del Intercambiador de Tubos Concéntricos
RTD_3	INT	Local:5:I.C h2Data	Dato del Sensor RTD3 de Salida de Agua Caliente del Intercambiador de Tubos Concéntricos
RTD_4	INT	Local:5:I.C h3Data	Dato del Sensor RTD4 de Entrada de Agua Fría del Intercambiador de Tubos Concéntricos
RTD_5	INT	Local:5:I.C h4Data	Dato del Sensor RTD5 de Entrada de Agua Caliente del Intercambiador de Concha y Tubos
RTD_6	INT	Local:5:I.C h5Data	Dato del Sensor RTD6 de Salida de Agua Caliente del Intercambiador de Concha y Tubos
RTD_7	INT	Local:6:I.C h0Data	Dato del Sensor RTD7 de Entrada de Agua Caliente del Intercambiador de Placas
RTD_8	INT	Local:6:I.C h1Data	Dato del Sensor RTD8 de Salida de Agua Caliente del Intercambiador de Placas
RTD_9	INT	Local:6:I.C h2Data	Dato del Sensor RTD9 de Entrada de Agua Fría del Intercambiador de Placas
RTD_10	INT	Local:6:I.C h3Data	Dato del Sensor RTD 10 de Salida de Agua Fría del Intercambiador de Placas
RTD_11	INT	Local:6:I.C h4Data	Dato del Sensor RTD 11 de Entrada de Agua Fría del Intercambiador de Concha y Tubos
RTD_12	INT	Local:6:I.C h5Data	Dato del Sensor RTD 12 de Salida de Agua Fría del Intercambiador de Concha y Tubos
RTD_13	INT	Local:7:I.C h0Data	Dato del Sensor RTD T1 de Tanque de Agua Caliente
RTD_14	INT	Local:7:I.C h1Data	Dato del Sensor RTD T2 de Tanque de Agua Fría
RTD_15	INT	Local:7:I.C h2Data	Dato del Sensor RTD Vapor
RTD_16	INT	Local:7:I.C h3Data	Dato del Sensor RTD 13 de Entrada de Agua Fría del Condensador de 1 Tubo
RTD_17	INT	Local:7:I.C h4Data	Dato del Sensor RTD 14 de Entrada de Agua Fría del Condensador de 5 Tubos

<b>Nombre</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Alias para</b>	<b>Descripción</b>
RTD_18	INT	Local:7:I.C h5Data	Dato del Sensor RTD 15 de Entrada de Vapor del Condensador de 1 Tubo
ROTAMETR O_1	REAL	No aplica	Flujo escalado del Rotámetro 1
ROTAMETR O_2	REAL	No aplica	Flujo escalado del Rotámetro 2

## **APÉNDICE B: RUTINAS DEL PROGRAMA DEL CONTROLADOR**

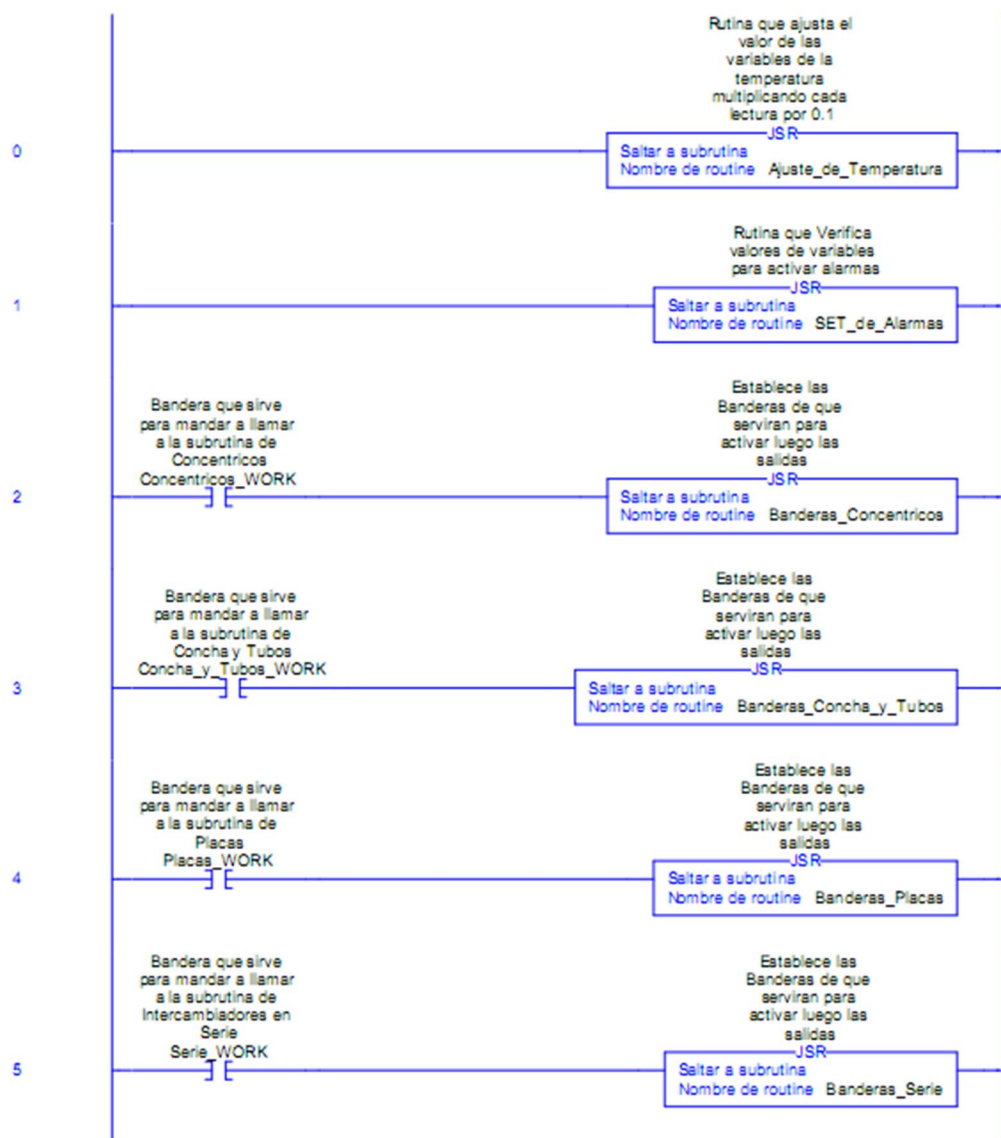
## Rutina principal

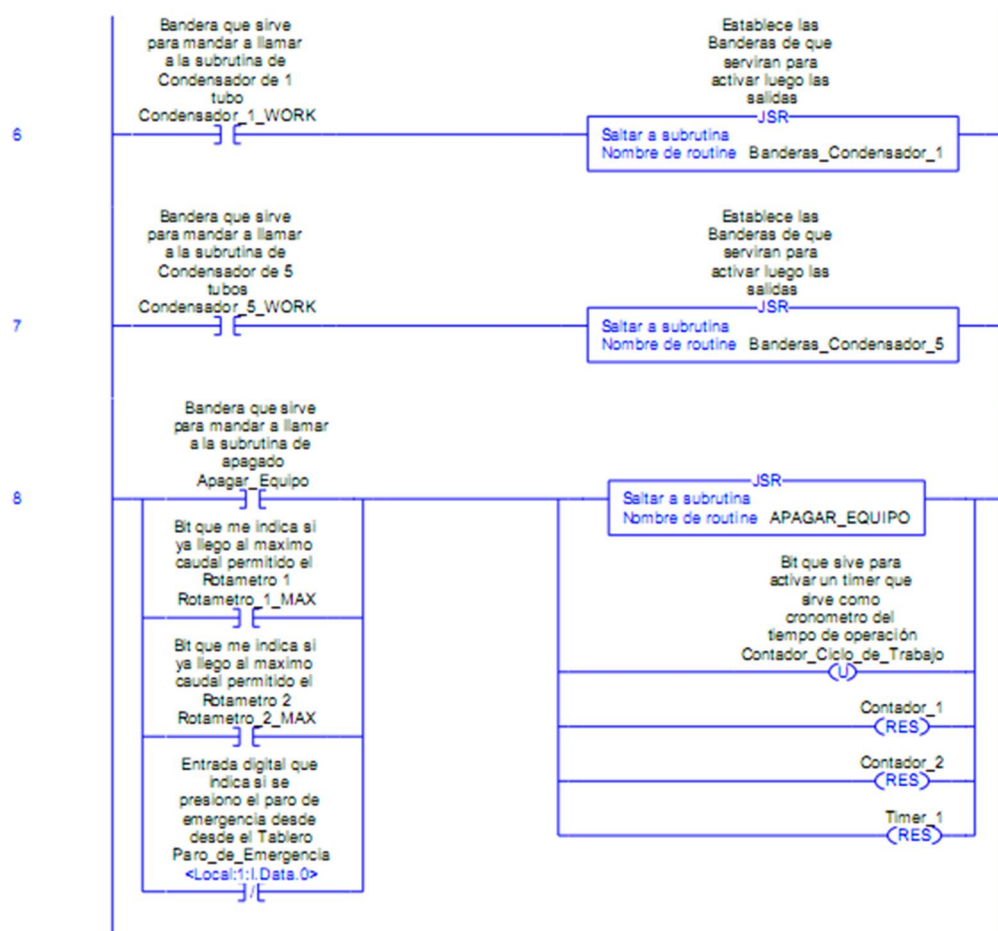
MainRoutine - Diagrama de lógica de escalera  
Intercambio\_de\_Calor:MainTask:MainProgram  
Número total de renglones de la rutina: 16

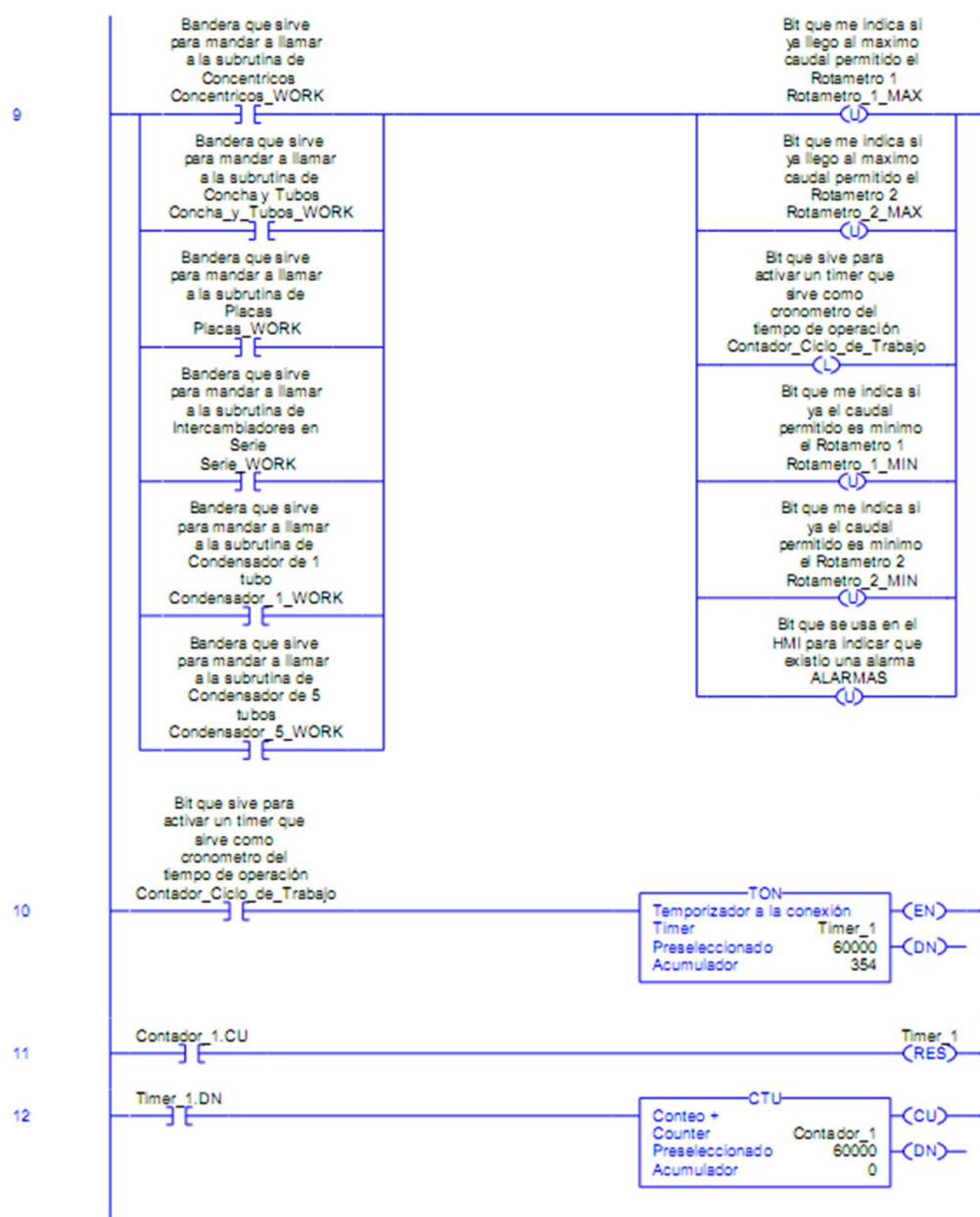
Página 1

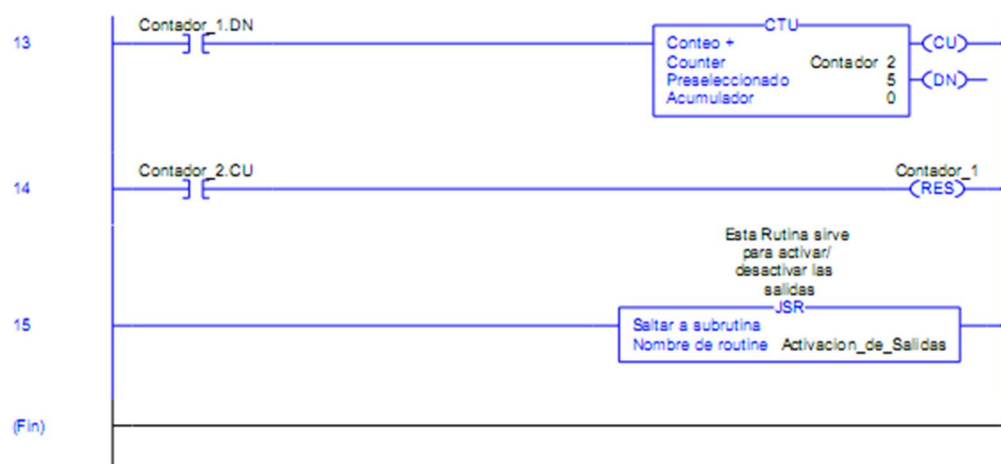
11/11/2010 18:38:37

C:\RSLogix 5000\Projects\Intercambio\_de\_Calor.ACD









## Banderas\_Concentricos - Lenguaje de texto estructurado

Intercambio\_de\_Calor:MainTask:MainProgram

Número total de líneas de la routine: 31

```
1
2          (* Se hace el seteo de banderas para que estas luego activen las salidas de las
3          válvuas para inter de Concentricos*)
4      Val_1      := 1 ;
5      Val_2      := 0 ;
6      Val_3      := 1 ;
7      Val_4      := 0 ;
8      Val_5      := 1 ;
9      Val_6      := 0 ;
10     Val_7      := 0 ;
11     Val_8      := 1 ;
12     Val_9      := 0 ;
13     Val_10     := 0 ;
14     Val_11     := 1 ;
15     Val_12     := 0 ;
16     Val_13     := 0 ;
17     Val_14     := 1 ;
18     Val_15     := 0 ;
19     Val_16     := 1 ;
20     Val_17     := 0 ;
21     Val_18     := 1 ;
22     Val_19     := 0 ;
23     Val_20     := 0 ;
24     Val_21     := 0 ;
25     Val_22     := 0 ;
26     ESPA      := 1 ;
27     STARITE    := 1 ;
28
29
30
31     RET()
```

## Banderas\_Concha\_y\_Tubos - Lenguaje de texto estructurado

Intercambio\_de\_Calor:MainTask:MainProgram

Número total de líneas de la routine: 29

```
1
2          (* Se hace el seteo de banderas para que estas luego activen las salidas de las
3          válvulas para inter de concha y tubos*)
4      Val_1      := 0 ;
5      Val_2      := 1 ;
6      Val_3      := 0 ;
7      Val_4      := 1 ;
8      Val_5      := 0 ;
9      Val_6      := 1 ;
10     Val_7      := 0 ;
11     Val_8      := 1 ;
12     Val_9      := 0 ;
13     Val_10     := 0 ;
14     Val_11     := 1 ;
15     Val_12     := 0 ;
16     Val_13     := 1 ;
17     Val_14     := 0 ;
18     Val_15     := 1 ;
19     Val_16     := 0 ;
20     Val_17     := 1 ;
21     Val_18     := 0 ;
22     Val_19     := 0 ;
23     Val_20     := 0 ;
24     Val_21     := 0 ;
25     Val_22     := 0 ;
26     ESPA      := 1 ;
27     STARITE    := 1 ;
28
29
30
31     RET()
```

## Banderas\_Placas - Lenguaje de texto estructurado

Intercambio\_de\_Calor:MainTask:MainProgram

Número total de líneas de la routine: 31

```
1
2          (* Se hace el seteo de banderas para que estas luego activen las salidas de las
3          válvuas para inter de placas*)
4      Val_1      := 0 ;
5      Val_2      := 1 ;
6      Val_3      := 0 ;
7      Val_4      := 0 ;
8      Val_5      := 1 ;
9      Val_6      := 0 ;
10     Val_7      := 1 ;
11     Val_8      := 0 ;
12     Val_9      := 1 ;
13     Val_10     := 1 ;
14     Val_11     := 0 ;
15     Val_12     := 1 ;
16     Val_13     := 0 ;
17     Val_14     := 1 ;
18     Val_15     := 0 ;
19     Val_16     := 0 ;
20     Val_17     := 1 ;
21     Val_18     := 0 ;
22     Val_19     := 0 ;
23     Val_20     := 0 ;
24     Val_21     := 0 ;
25     Val_22     := 0 ;
26     ESPA      := 1 ;
27     STARITE    := 1 ;
28
29
30
31     RET()
```

# Banderas\_Serie - Lenguaje de texto estructurado

Intercambio\_de\_Calor:MainTask:MainProgram

Número total de líneas de la routine: 29

```
1
2          (* Se hace el seteo de banderas para que estas luego activen las salidas de las
3          válvuas para inter en serie*)
4      Val_1      := 1 ;
5      Val_2      := 0 ;
6      Val_3      := 1 ;
7      Val_4      := 1 ;
8      Val_5      := 0 ;
9      Val_6      := 1 ;
10     Val_7      := 1 ;
11     Val_8      := 0 ;
12     Val_9      := 1 ;
13     Val_10     := 1 ;
14     Val_11     := 0 ;
15     Val_12     := 1 ;
16     Val_13     := 1 ;
17     Val_14     := 0 ;
18     Val_15     := 1 ;
19     Val_16     := 1 ;
20     Val_17     := 0 ;
21     Val_18     := 1 ;
22     Val_19     := 0 ;
23     Val_20     := 0 ;
24     Val_21     := 0 ;
25     Val_22     := 0 ;
26     ESPA      := 1 ;
27     STARITE    := 1 ;
28
29
30
31     RET()
```

## Banderas\_Condensador\_1 - Lenguaje de texto estructurado

Intercambio\_de\_Calor:MainTask:MainProgram

Número total de líneas de la routine: 28

```
1
2          (* Se hace el seteo de banderas para que estas luego activen las salidas de las
3           válvulas para condensador de 1 tubo*)
4     Val_1      := 0 ;
5     Val_2      := 0 ;
6     Val_3      := 0 ;
7     Val_4      := 0 ;
8     Val_5      := 0 ;
9     Val_6      := 0 ;
10    Val_7      := 0 ;
11    Val_8      := 0 ;
12    Val_9      := 0 ;
13    Val_10     := 0 ;
14    Val_11     := 0 ;
15    Val_12     := 0 ;
16    Val_13     := 0 ;
17    Val_14     := 0 ;
18    Val_15     := 0 ;
19    Val_16     := 1 ;
20    Val_17     := 0 ;
21    Val_18     := 1 ;
22    Val_19     := 0 ;
23    Val_20     := 0 ;
24    Val_21     := 0 ;
25    Val_22     := 0 ;
26    ESPA       := 1 ;
27    STARITE    := 0 ;
28
29
30
31    RET()
```

## **Banderas\_Condensador\_5 - Lenguaje de texto estructurado**

Intercambio\_de\_Calor:MainTask:MainProgram

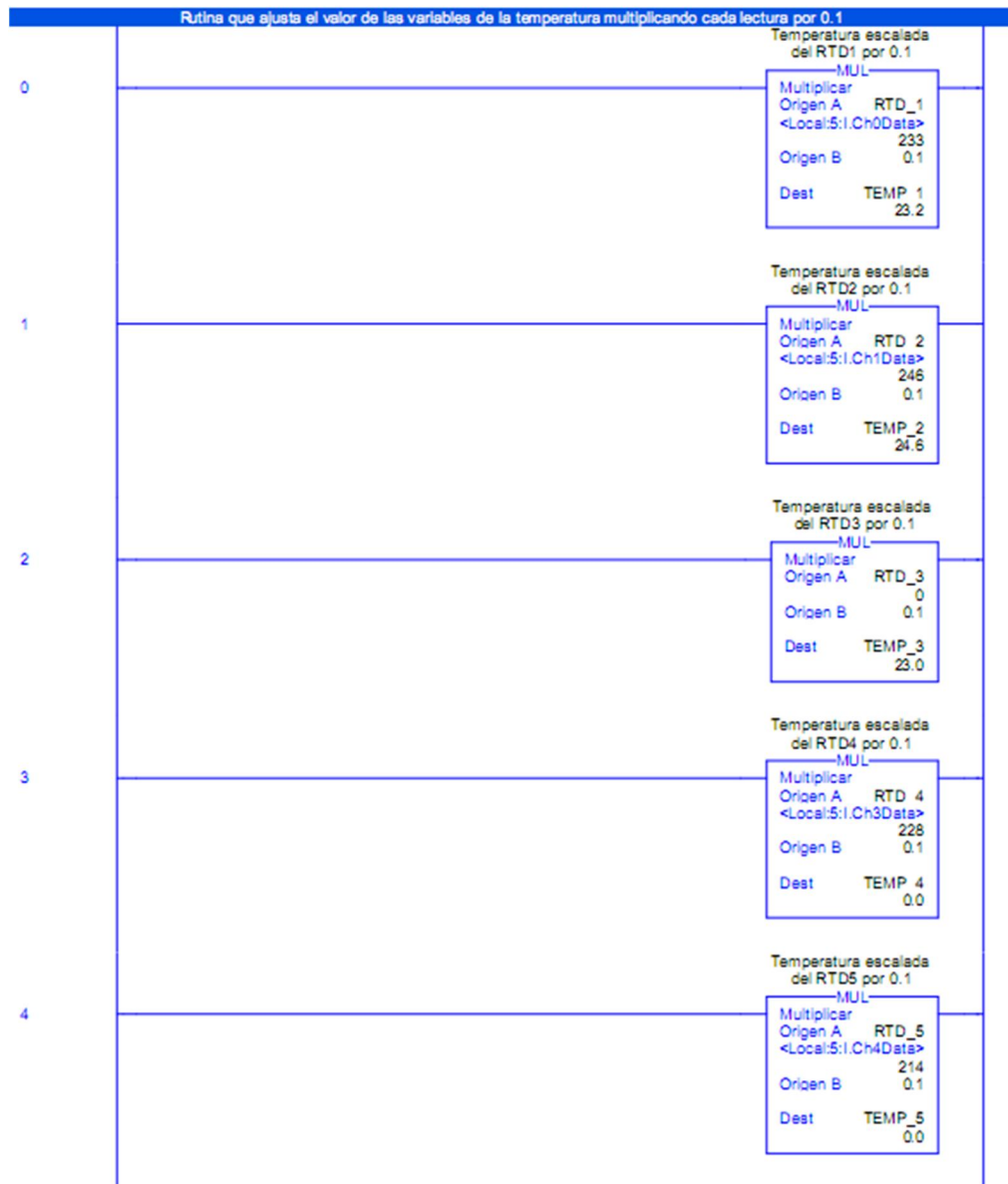
Número total de líneas de la routine: 30

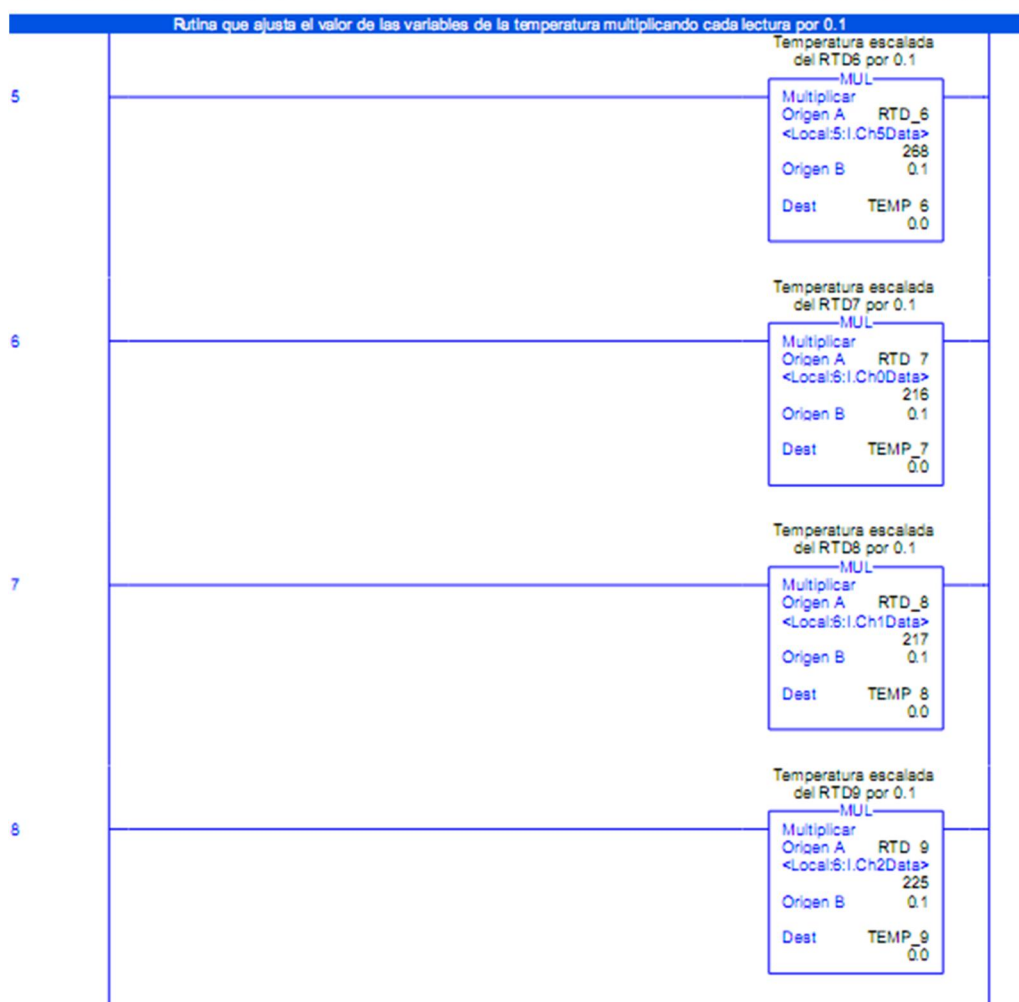
```
1
2          (* Se hace el seteo de banderas para que estas luego activen las salidas de las
3          válvulas para condensador de 5 tubos*)
4      Val_1      := 0 ;
5      Val_2      := 0 ;
6      Val_3      := 0 ;
7      Val_4      := 0 ;
8      Val_5      := 0 ;
9      Val_6      := 0 ;
10     Val_7      := 0 ;
11     Val_8      := 0 ;
12     Val_9      := 0 ;
13     Val_10     := 0 ;
14     Val_11     := 0 ;
15     Val_12     := 0 ;
16     Val_13     := 0 ;
17     Val_14     := 0 ;
18     Val_15     := 0 ;
19     Val_16     := 0 ;
20     Val_17     := 0 ;
21     Val_18     := 0 ;
22     Val_19     := 1 ;
23     Val_20     := 0 ;
24     Val_21     := 1 ;
25     Val_22     := 0 ;
26     ESPA      := 1 ;
27     STARITE    := 0 ;
28
29
30
31     RET()
```

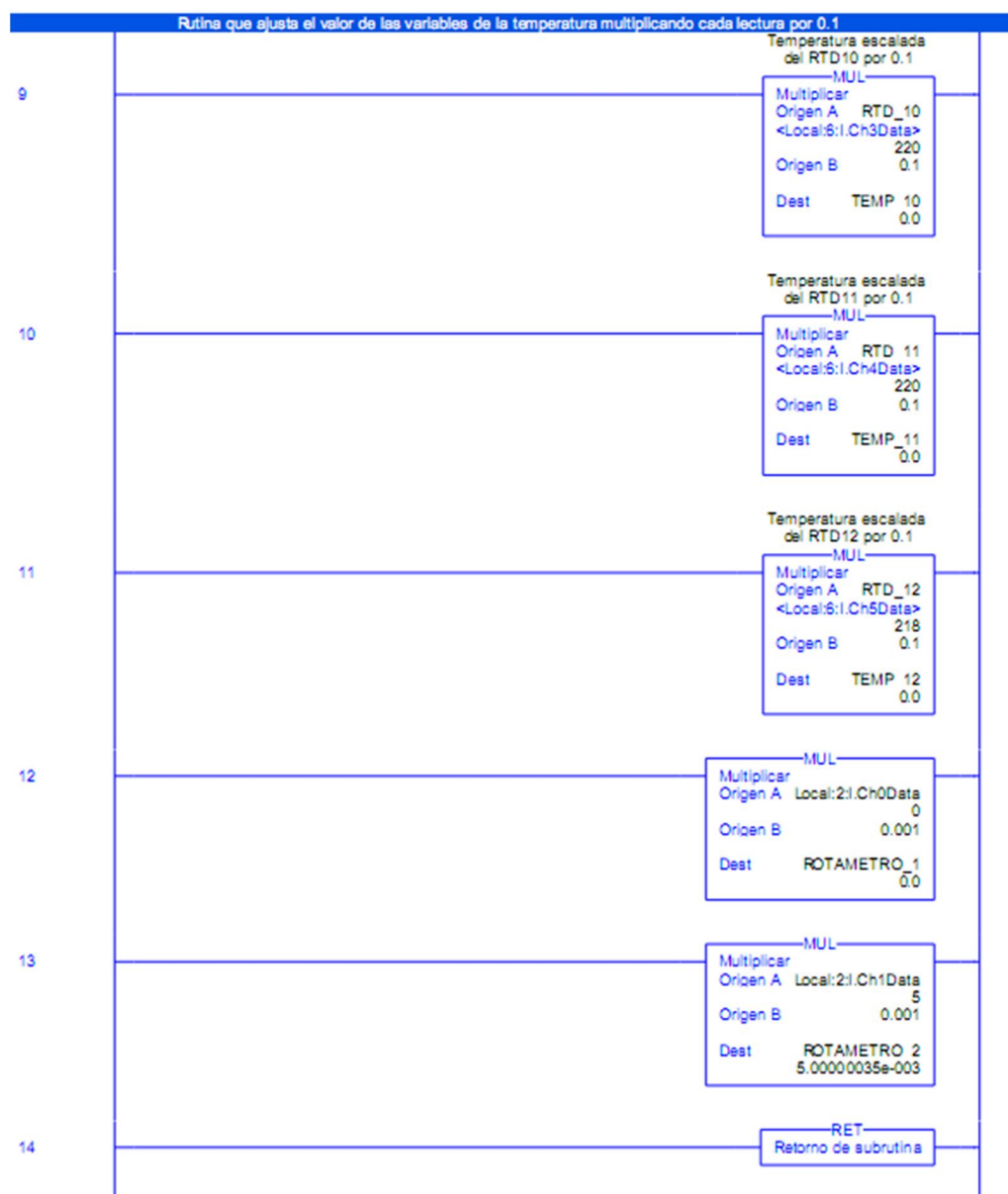
# Rutina de ajuste de temperaturas

Ajuste de Temperatura - Diagrama de lógica de escalera  
Intercambio\_de\_Calor:MainTask:MainProgram  
Número total de renglones de la routine: 15

Página 1  
11/11/2010 18:41:14  
C:\RSLogix 5000\Projects\Intercambio\_de\_Calor.ACD







## Rutina de activación de salidas

