



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO**

ESCUELA SUPERIOR DE TIZAYUCA

“Control del proceso de un intercambiador de calor”

TESINA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

PRESENTA

OSCAR MARTÍNEZ GONZÁLEZ

ASESORES: M. en C. Asdrúbal López Chau

M. en C. José Carlos Quezada Quezada

TIZAYUCA, HIDALGO. DICIEMBRE DE 2008.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco por la oportunidad que me dio la vida de realizar mi carrera y ahora de concluir lo que empecé y que ahora con mucho esfuerzo y sacrificio estoy terminando.

A MIS PADRES

Por darme la vida y la oportunidad de estar con ustedes. Por compartir mis logros y fracasos. Por su apoyo y comprensión que me han brindado desde el momento que estuve en sus brazos. A ti madre por pasar los mejores años de tu vida esforzándote para formar una persona de bien, por guiarme en aquellos momentos tambaleantes que tuve y no comprendí pero que ahora el tiempo y la escuela de la vida, dura pero sabia me ha hecho comprender. A ti padre por tu ejemplo de humildad y honestidad que me has inculcado, gracias por enseñarme que el único camino hacia el éxito es el trabajo ya que es la mejor herencia que un padre puede dar a sus hijos. Gracias por ser los mejores padres y este logro es para ustedes.

A MIS HERMANOS

Que sin pedir nada a cambio me ayudaron directa o indirectamente desinteresadamente, gracias por contar con ustedes y por ser constantes en mi vida.

A MI NOVIA

Muchas gracias Nan por darme la oportunidad de estar contigo todo este tiempo compartiendo mis tristezas y alegrías. Te agradezco todo el apoyo que me has brindado, sabes que eres una persona muy importante en mi vida y al igual que a mi familia te agradezco por tu apoyo y comprensión. Eres la mejor novia que puedo tener.

A MIS PROFESORES

A quienes, les expreso todo mi agradecimiento ya que con su apoyo y comprensión, me ayudaron a concluir mi formación profesional, especialmente a los M. en C. José Carlos Quezada y Asdrúbal López Chau, por su apoyo y atención durante todos estos meses.

Índice general

Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
Justificación	9
Objetivos	10
Objetivos Específicos	10
Planteamiento del Problema	11
Alcance del Trabajo	12
Estructura de la Tesis	13
1. Sistemas de control	14
1.1. Introducción a los sistemas de control	14
1.1.1. Sistemas de control en lazo cerrado	14
1.1.2. Sistemas de control en lazo abierto	15
1.1.3. Sistemas de control de lazo cerrado en comparación con los sistemas de lazo abierto	16
1.2. Sistema de control de un intercambiador de calor	17
1.3. Selección del sistema de control	19
1.4. Historia de los PLC	20
1.5. PLC	21
1.5.1. Funcionamiento del PLC	22
1.5.2. Periféricos	22
1.6. Capacidades E/S en los PLC modulares	23
1.7. Hardware	23
1.8. Programación	24
1.9. Comunicaciones	25
1.10. PLC en comparación con otros sistemas de control	25

1.11. Interfaz de usuario (HMI)	26
1.12. Sensores	26
1.13. Válvulas	28
2. Elementos del sistema de control del intercambiador de calor	29
2.1. Sensores de presión	29
2.1.1. Tubo de Bourdon	29
2.1.2. Sensor de fuelle	30
2.1.3. Sensor de diafragma	30
2.2. Sensores de temperatura	31
2.2.1. Termómetros de expansión	33
2.2.2. Dispositivos con sensor de resistencia	34
2.2.3. Termopares	36
2.3. Válvula proporcional	36
2.4. Válvula de mariposa	36
3. Desarrollo del sistema de control del intercambiador de calor	38
3.1. Diagrama de bloques	38
3.2. Declaración de variables en el software Versapro	39
3.3. Lenguaje escalera en el software Versapro	40
3.4. Configuración del hardware en la programación Versapro	47
3.5. Pantallas de HMI en Cimplicity Workbench	48
3.5.1. Pantallas de control de temperatura y presión	49
4. Simulación del sistema de control del intercambiador de calor	57
4.1. Pruebas	57
4.2. Modo manual del sistema de control del intercambiador de calor	61
4.3. Condiciones de paro del sistema	61
Conclusiones	69
Trabajos a futuro	70
Glosario	71
Apéndice	72

Índice de figuras

1.	Intercambiador de calor	11
1.1.	Diagrama de bloques de un proceso industrial típico.	15
1.2.	Diagrama de control de un sistema de control de lazo cerrado.	15
1.3.	Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo abierto.	16
1.4.	Sistema de control electrónico del proceso de un intercambiador de calor	17
1.5.	Sistema de control de un intercambiador de calor.	18
1.6.	Sistema de control de lazo cerrado de un intercambiador de calor	19
1.7.	Acciones PID	20
1.8.	Guía de selección de un sistema de control	21
2.1.	Tubo de Bourdon sencillo.	30
2.2.	Tubo de bourdon en forma de helicoide.	31
2.3.	Sensor de presión con fuelle.	31
2.4.	Funcionamiento interno de un sensor de presión con fuelle.	32
2.5.	Sensor de presión con diafragma	32
2.6.	Funcionamiento interno de un sensor de presión con diafragma.	33
2.7.	Termómetro de tira bimetálica.	34
2.8.	Termómetros de sistema lleno.	35
2.9.	Comportamiento de un PT100 con base en la relación resistencia-temperatura	35
2.10.	Válvula de mariposa	37
3.1.	Diagrama a bloques del intercambiador de calor.	38
3.2.	Intercambiador de calor	39
3.3.	Arranque del sistema.	40
3.4.	Protección de nivel.	43
3.5.	Bloques del PID.	43
3.6.	Controlador PID.	44
3.7.	Comparador de presión elevada.	45
3.8.	Comparador de temperatura.	46
3.9.	Activación de la bomba.	46
3.10.	Comparador del punto de consigna.	47
3.11.	Temporizador.	48
3.12.	Paros del sistema.	48

3.13. Modo manual UP.	49
3.14. Modo manual DN.	50
3.15. Display HMI.	51
3.16. Activación de válvula.	51
3.17. Representación gráfica de la configuración de la placa base del PLC de 5 ranuras.	52
3.18. Representación gráfica de la configuración de la placa base remota del PLC de 5 ranuras.	53
3.19. Representación gráfica de los puntos declarados en Cimplicity Workbench.	54
3.20. Pantalla del sistema de control de temperatura y presión en Cimplicity workbench	56
4.1. Sensor de temperatura Pt100	57
4.2. Sensor de presión tipo fuelle.	58
4.3. Sensor de nivel.	58
4.4. Entradas digitales, botón inicio y botón paro de emergencia del sistema de control.	59
4.5. Inicio del proceso del sistema de control del intercambiador de calor.	60
4.6. Temperatura igual al punto de consigna.	63
4.7. Temperatura ok HMI.	64
4.8. Modo manual del sistema de control.	65
4.9. Sensor de nivel activado.	66
4.10. Nivel bajo HMI.	67
4.11. Presión elevada.	68
4.12. Presión elevada HMI	68
4.13. Apéndice A Tabla del Pt100	72

Índice de cuadros

3.1. Declaración de variables	41
3.2. Valores determinados para la variable presión	42
3.3. Valores determinados para la variable temperatura.	42
3.4. Puntos declarados de la HMI en Cimplicity Workbench	55

Resumen

Se diseña un algoritmo de control, utilizando un PLC (*Programmable Logic Controller, por sus siglas en inglés*) Ge-Fanuc de la serie 90-30, para controlar un intercambiador de calor, ya que en diversos procesos de producción es indispensable contar con agua caliente, para realizar limpieza a los equipos de producción. El valor de la temperatura del agua es determinado de acuerdo con las necesidades del proceso.

El algoritmo de control se realiza mediante un control de lazo cerrado, utilizando una programación en lenguaje escalera y donde las dos principales variables a controlar son la temperatura y presión.

Se desarrolla una HMI (*Interface Human-Machine, por sus siglas en inglés*), a través de la cual se visualiza y manipula el proceso en tiempo real permitiendo modificar o ingresar datos al sistema de control.

También se realizaron pruebas, en un banco de trabajo, al sistema de control verificando la correcta comunicación de la interfaz humano-máquina con el PLC; y a su vez la comunicación de este con los dispositivos de entrada y salida del PLC, se verificó el correcto funcionamiento del sistema de paros del algoritmo de control.

Abstract

Designs an algorithm of control, using a PLC of GE Fanuc of the series 90-30 to control a heat interchanger, due to the fact that in diverse processes of production it is indispensable to have warm water to realize the cleanliness of the machines of production. The value of the temperature of the water is determined in agreement by the needs of the process.

The control algorithm is done through a closed loop control, using a programming in language ladder, where the principal variables to controlling are the temperature and pressure.

A HMI develops by means of which the process is visualized and manipulated in real time, this one allows to modify and to provide information to the system of control.

The tests were realized in a test bench, checking the correct communication of the interface human machine with the PLC and the communication of this one with the devices of entry and exit of the PLC, the correct functioning of the system of unemployment of the algorithm of control was checked.

Introducción

El control automático de procesos se usa fundamentalmente debido a que reduce el costo de operación de los procesos industriales, lo que compensa con creces la inversión en equipo de control; además ayuda en la eliminación de errores en los procesos industriales. En el presente trabajo se desarrolla un algoritmo de control para un intercambiador de calor, que mantiene la temperatura del líquido contenido en un tanque a un valor determinado o punto de consigna, que es introducido a través de una interfaz humano-maquina (HMI).

Se utiliza un PLC Ge-Fanuc de la serie 90-30 para desarrollar la programación en lenguaje escalera; para la variable temperatura se utiliza un sistema de control de lazo cerrado; la variable presión se utiliza como una protección, si el valor de ésta es mayor a 3 bar, se detiene el proceso por seguridad; otros factores que intervienen en el sistema de control es el nivel del tanque, salidas de control para activación de una bomba y una válvula que funcionan siempre y cuando la temperatura sea menor al punto de consigna. Una vez desarrollado el algoritmo de control se realizan las pruebas de funcionamiento de cada uno de los elementos del sistema en un banco de trabajo, realizando una simulación del proceso del intercambiador de calor.

Justificación

En diversos procesos de producción y en distintos ramos de la industria se encuentran aplicaciones de lo que es un intercambiador de calor, por ejemplo, en el ramo textil en los procesos químicos para el teñido del hilo, en la industria alimentaria en los equipos de pasteurización y en los sistemas de limpieza ya que es indispensable disponer de agua caliente, para eso es necesario desarrollar un sistema de regulación automática, que controle simultáneamente la operación de los siguientes elementos; transmisor (sensor de temperatura), que produce una señal eléctrica y cuyo valor es comparado con un valor deseado o punto de consigna, si existe una diferencia entre el punto de consigna y el valor de la señal del sensor de temperatura el controlador debe cambiar la abertura de una válvula de control, que aumenta o disminuye la circulación de vapor en un intercambiador de calor. En la figura 1.1 se muestra un tanque; es necesario que la temperatura del líquido se encuentre a 40 °C; si no es así, el operador debe activar el sistema del intercambiador de calor el cual eleva la temperatura del líquido contenido en el tanque; dado que el sistema requiere una temperatura determinada y es necesario controlar la presión generada por éste, es indispensable desarrollar un algoritmo de control para las variables presión y temperatura del sistema.

Objetivos

Controlar el proceso de un intercambiador de calor mediante un Controlador Lógico Programable (PLC) y una Interfaz Humano-Máquina (HMI) para desarrollar un sistema de control automático.

Objetivos Específicos

- Controlar el valor de la temperatura del líquido contenido en un tanque.
- Controlar el valor de la presión generada por el intercambiador de calor.
- Implementar el algoritmo para el sistema de control.
- Realizar pruebas del sistema de control en un banco de trabajo.

Planteamiento del Problema

Se requiere controlar el intercambiador de calor que se muestra en la Figura 1. El líquido que sale del intercambiador de calor tiene una temperatura que es controlada en éste mismo mediante la manipulación de la posición de la válvula reguladora de vapor. El flujo de vapor se manipula mediante la posición de la válvula; si se presenta una elevación de presión en el intercambiador, es decir, si la presión es igual o mayor a 3 bar, el sistema debe manifestar la condición de alarma y detener el sistema en general, esta perturbación es medida por el sensor de presión localizado en el intercambiador de calor; el valor de la temperatura a la que se requiere que se encuentre el líquido en el tanque es de 40°C , este valor es determinado por el operador e ingresado a través de la HMI, una vez que la temperatura del líquido en el tanque sea la indicada, se mantiene operando el sistema por un tiempo de 15 minutos y se finaliza el proceso.

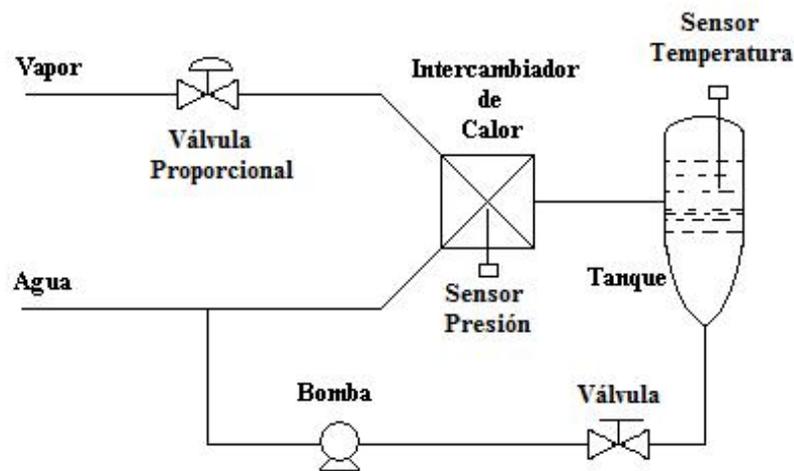


Figura 1: Intercambiador de calor

Alcance del Trabajo

Se desarrolla un algoritmo de control para el intercambiador de calor, la programación del PLC se realiza en lenguaje escalera, para el control de la variable de temperatura se utiliza un sensor de temperatura del tipo Termómetros con Dispositivos Resistivos (RTD) y una salida para una válvula reguladora de vapor cuya apertura o cierre depende de la comparación del valor que el sensor proporcione y el valor deseado de temperatura (que es variable) y que es introducido desde la HMI.

La HMI proporciona una visualización en tiempo real del proceso; a través de ésta se puede iniciar o detener el proceso, de igual manera se cuenta con botones físicos para el paro y arranque del sistema. En la HMI se visualiza el punto de consigna de la variable temperatura, el valor real de ésta (lectura del sensor de temperatura) y un indicador que aparece después de un tiempo determinado cuando la temperatura del líquido en el tanque es igual o mayor al punto de consigna de temperatura. De igual manera se visualiza la presión generada por el intercambiador; para esto se cuenta con un sensor de presión del tipo fuelle y que al ser igual o mayor a 3 bar el sistema manifiesta la condición de alarma e impide continuar con el proceso. Se tiene un sensor de nivel analógico que funciona como una protección cuando el nivel del líquido en el tanque es igual o menor al 5 % de su capacidad, impidiendo continuar con el proceso.

En la HMI se tiene la opción de operar de forma manual el sistema, por lo que el operador puede controlar la temperatura del líquido en el tanque controlando la apertura y cierre de la válvula de control de acuerdo con su criterio.

Estructura de la Tesina

Capítulo I

Se proporciona una explicación de lo que es un sistema de control, sus aplicaciones, representación esquemática de estos; también se da una explicación de lo que son los sistemas de control de lazo cerrado y lazo abierto; sus ventajas, desventajas, aplicaciones y una comparación entre estos sistemas de control.

Se describe lo que es un PLC, antecedentes de los PLC, su funcionamiento, capacidad de entradas y salidas de los PLC, la programación y las distintas formas de hacerlo, la comunicación de los PLC con otros dispositivos. Se explica la interfaz humano-máquina HMI, así como sus funciones.

Se explica qué es un sensor, cómo funciona y los factores que se toman en cuenta para poder hacer una buena elección de los sensores de acuerdo con la aplicación.

Capítulo II

Se explica el funcionamiento de los sensores de presión y tres diferentes tipos de sensores, incluyendo el sensor de fuelle que se utiliza en el proyecto, también se explica el principio de funcionamiento de los sensores de temperatura, se hace énfasis en el sensor de temperatura Pt100 que se utiliza en el proyecto.

Capítulo III

Se explica el sistema de control del intercambiador de calor, se definen las condiciones de operación del sensor de presión y del sensor de temperatura, se definen las variables en el software Versapro y en Cimplicity Workbench; se desarrolla y se explica el programa en lenguaje escalera.

Capítulo IV

Se realizan las pruebas en un banco de trabajo para verificar el funcionamiento del algoritmo de control del intercambiador de calor.

Capítulo 1

Sistemas de control

1.1. Introducción a los sistemas de control

Los sistemas de control son un conjunto de componentes que actúan conjuntamente para mantener una o más variables dentro de una cantidad o condición de operación aceptables; para ello se desarrollaron sistemas de control automático. A un sistema de control automático en el que la salida es una variable como temperatura, presión, flujo, nivel de líquido o pH, se le denomina sistema de control de proceso, y tienen una amplia aplicación en la industria. En estos sistemas con frecuencia se usan controladores programados, como el de la temperatura de un horno de calentamiento en que la temperatura del mismo se controla según un valor deseado o de consigna preestablecido; por ejemplo, el programa preestablecido puede consistir en elevar la temperatura a determinado valor durante un intervalo de tiempo definido, y luego reducir a otra temperatura prefijada también durante un periodo predeterminado. En este control el punto de referencia se ajusta según las necesidades del proceso. El controlador entonces funciona manteniendo la temperatura del horno cercana al punto de ajuste variable.

Estos sistemas se representan mediante un rectángulo llamado bloque, la variable o variables de entrada constituidas por flechas que entran en el rectángulo, y la variable o variables de salida representadas por flechas que salen del rectángulo. De este modo, el sistema de la Figura 1.1 representa el denominado diagrama de bloques de un proceso industrial.

1.1.1. Sistemas de control en lazo cerrado

Con frecuencia se llama así a los sistemas de control retroalimentado. En la práctica, se utiliza indistintamente la denominación control retroalimentado o control de lazo cerrado. La señal de error actuante, que es la diferencia entre la señal de entrada y la de retroalimentación (que puede ser la señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas), entra al controlador para reducir el error o distorsión y llevar la salida a un valor deseado, como

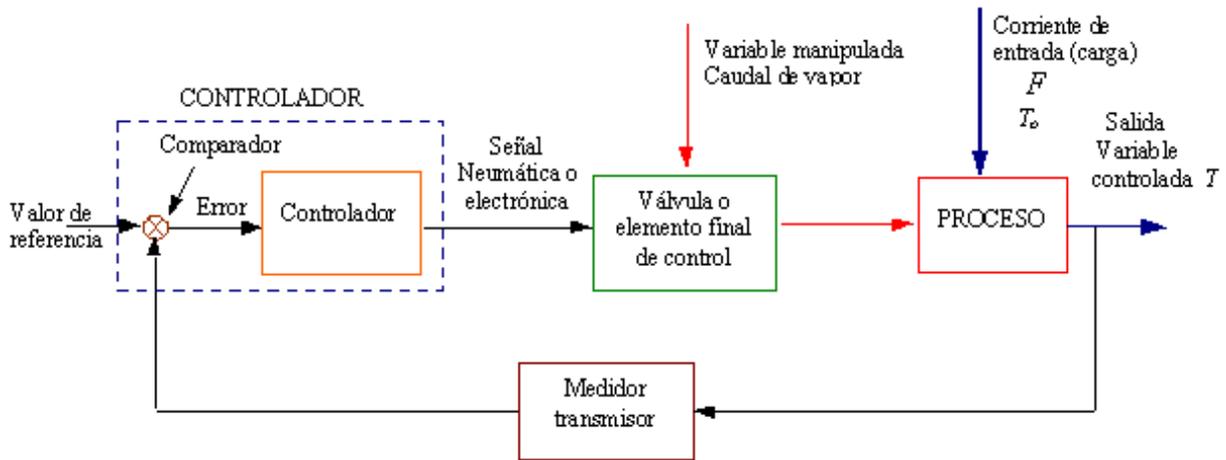


Figura 1.1: Diagrama de bloques de un proceso industrial típico.

se muestra en la Figura 1.2. Esta retroalimentación se logra a través de la acción de un operador (control manual) o por medio de instrumentos (control automático).

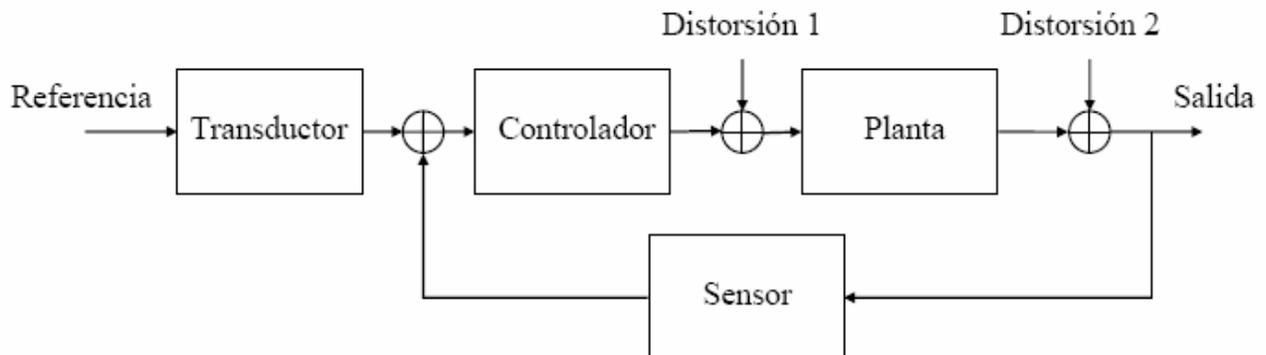


Figura 1.2: Diagrama de control de un sistema de control de lazo cerrado.

1.1.2. Sistemas de control en lazo abierto

Los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El lavado y el enjuague en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

En cualquier sistema de control en lazo abierto el cual se representa en la Figura 1.3, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración.

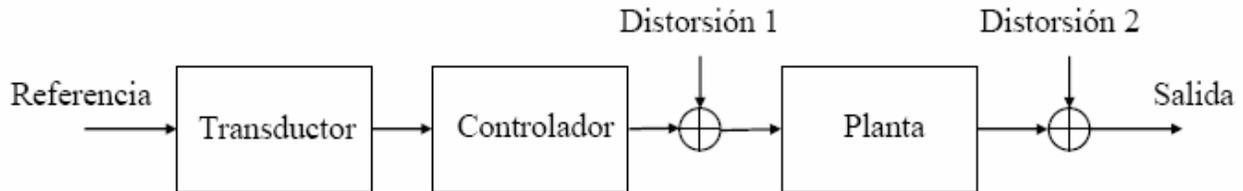


Figura 1.3: Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo abierto.

Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto solo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas.

Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Observe que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo es en lazo abierto. Por ejemplo, el control del tránsito mediante señales operadas con una base de tiempo es otro ejemplo de control en lazo abierto.

1.1.3. Sistemas de control de lazo cerrado en comparación con los sistemas de lazo abierto

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Por tanto, es posible usar componentes relativamente precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, en tanto que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto.

Desde el punto de vista de la estabilidad, el sistema de control en lazo abierto es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es una función principal en el sistema de control en lazo cerrado, lo cual puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante.

Es importante señalar que, para los sistemas en los que se conocen con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable emplear un control en lazo abierto. Los sistemas de control en lazo cerrado sólo tienen ventajas cuando se presentan perturbaciones impredecibles y/o variaciones impredecibles en los componentes del sistema.

La cantidad de componentes usados en un sistema de control de lazo cerrado es mayor que la que se emplea para un sistema de control de lazo abierto. Por tanto, el sistema de control en lazo cerrado suele tener costos más grandes.

Para disminuir la energía requerida de un sistema, se emplea un control en lazo abierto cuando puede aplicarse. Por lo general, una combinación adecuada de controles en lazo abierto y en lazo cerrado es menos costosa y ofrecerá un desempeño satisfactorio del sistema general.

1.2. Sistema de control de un intercambiador de calor

La Figura 1.4 corresponde a un intercambiador de calor, en el que el flujo de vapor calienta un producto de entrada hasta una temperatura de salida que es transmitida por TT (Transmisor de Temperatura) y controlada e indicada por el controlador de temperatura TC, a través de una válvula de control V. Esta deja pasar el vapor de calefacción suficiente para mantener la temperatura del fluido caliente en un valor deseado o punto de consigna que es prefijado (valor de referencia o "set point") en el controlador de temperatura TC.

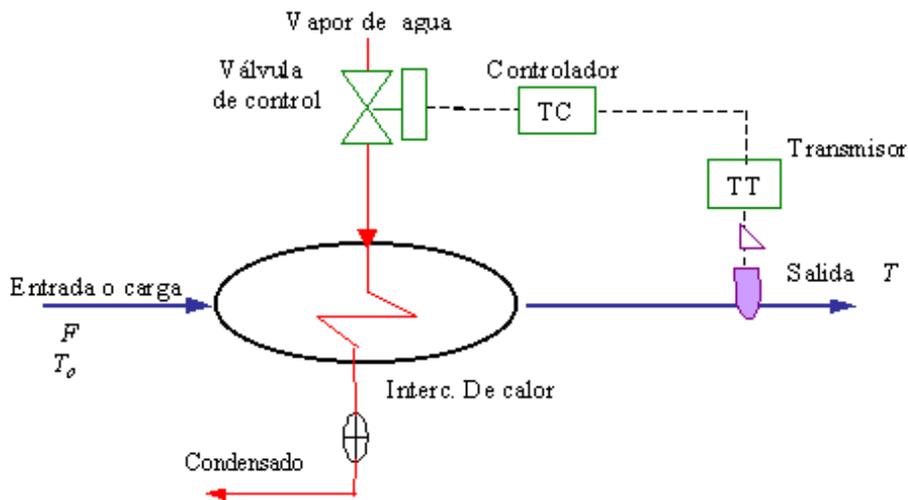


Figura 1.4: Sistema de control electrónico del proceso de un intercambiador de calor

La combinación de los componentes transmisor-controlador-válvula de control-proceso, que actúan conjuntamente, recibe el nombre de sistema y cumple el objetivo de mantener una temperatura constante en el fluido caliente de salida del intercambiador. Cada uno de los componentes anteriores considerados aisladamente es también un sistema, puesto que cada uno cumple un objetivo determinado. Por ejemplo, el transmisor convierte los valores de la temperatura a señales eléctricas; el controlador mantiene la señal de entrada constante para cada punto de consigna o valor deseado fijado por el operador, mediante la variación de

la señal de salida a la válvula de control; la válvula de control convierte la señal de entrada neumática a una posición de su vástago y, por tanto, gobierna el caudal de vapor con que alimenta el serpentín del intercambiador de calor.

El proceso cumple el objetivo de calentar el fluido de salida, mediante el vapor de entrada, y lo hace a través de un serpentín, del que se elimina continuamente el condensado con un purgador.

En el caso de control manual, para el sistema mostrado en la Figura 1.5 el operador mide previamente la temperatura de salida; si está, es por ejemplo, inferior al valor deseado, aumenta la circulación de vapor abriendo la válvula.

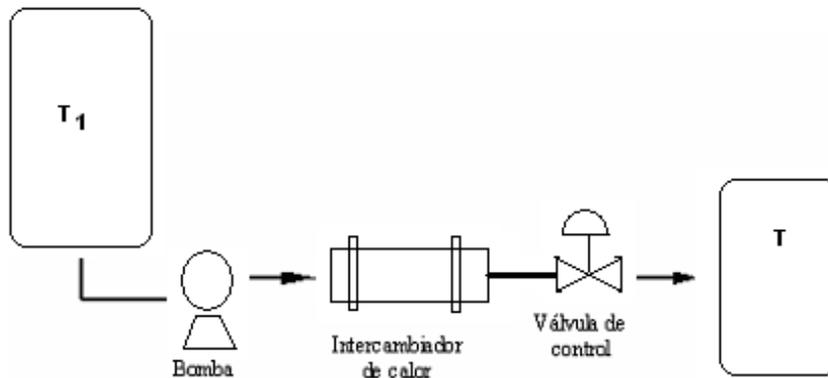


Figura 1.5: Sistema de control de un intercambiador de calor.

Cuando se trata de control automático, se emplea un dispositivo sensible a la temperatura para producir una señal (eléctrica) proporcional a la temperatura medida. Esta señal alimenta el controlador que la compara con un valor deseado preestablecido o punto de ajuste ("set point"); si existe una diferencia, el controlador cambia la abertura de la válvula de control de vapor para corregir la temperatura como se indica en la Figura 1.6

El término lazo cerrado implica el uso de la acción de control retroalimentado para reducir el error del sistema.

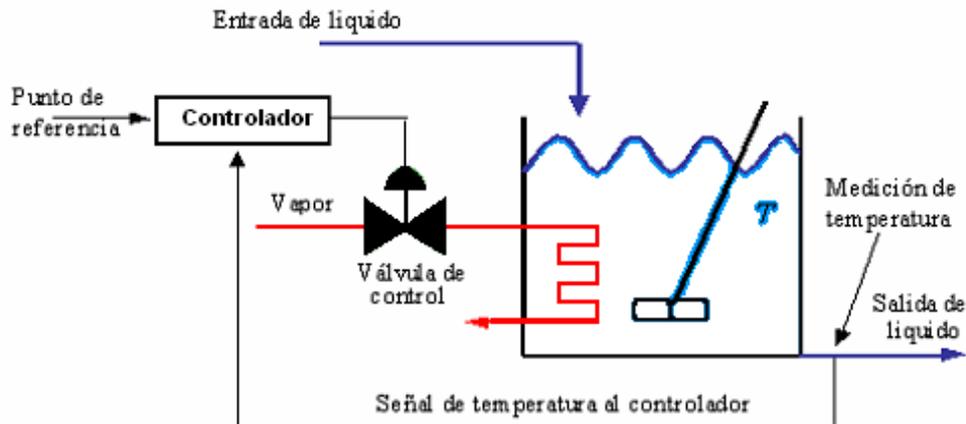


Figura 1.6: Sistema de control de lazo cerrado de un intercambiador de calor

1.3. Selección del sistema de control

Las tres acciones combinadas PID actúan sobre el elemento final de control en la forma señalada en la Figura 1.7, sus características esenciales pueden resumirse así:

- La acción Proporcional: cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable con respecto al punto de consigna.
- La acción Integral: mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación con respecto al punto de consigna.
- La acción Derivada: corrige la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada.

Considerando estos puntos, la selección del sistema de control es usualmente un compromiso entre la calidad del control que se desea y el costo del sistema de control. Es decir, debe ser suficiente para satisfacer la tolerancia requerida en el proceso, pero no debe incluir excesivos refinamientos que lo encarezcan.

Sin embargo, económicamente hay muy poca diferencia entre un controlador PI y uno PID, de modo que en el caso de estudiar procesos y sus perturbaciones que no sean bien conocidos puede ser más barato adquirir el controlador PID para tener así un potencial de mayor flexibilidad en el control del proceso.

No obstante, los instrumentos actuales de tipo modular admiten fácilmente la adición de una o más acciones. Los controladores digitales incorporan las tres acciones, de modo que la elección de las mismas es técnica, para que el proceso esté bien controlado.

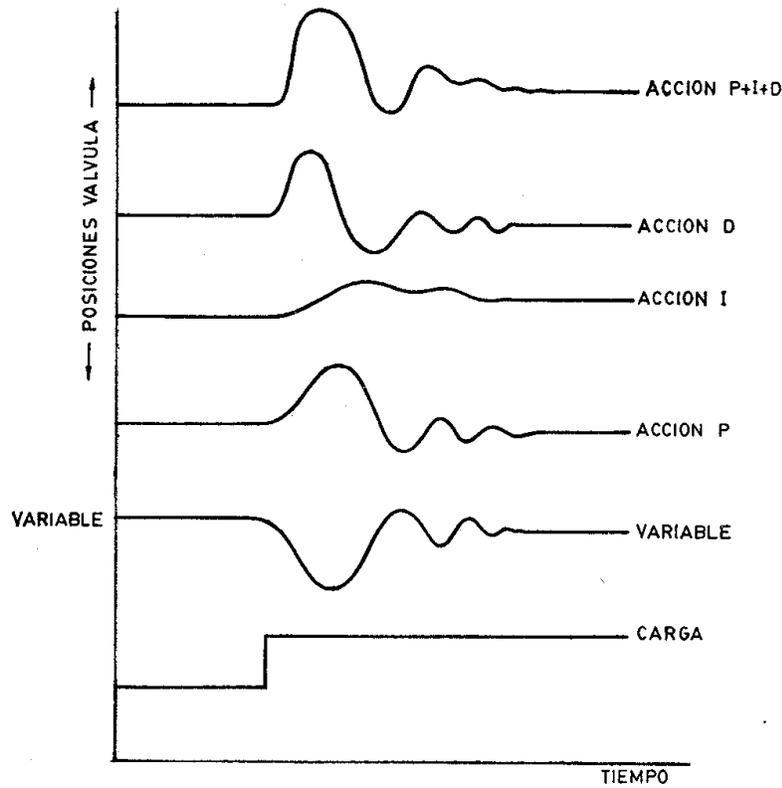


Figura 1.7: Acciones PID

La Figura 1.8 indica una guía general para seleccionar un sistema de control, si bien hay que señalar que sólo sirve de orientación general y debe consultarse únicamente como guía de aproximación al control idóneo[2].

1.4. Historia de los PLC

Los PLC fueron inventados en respuesta a las necesidades de la automatización de la industria automotriz norteamericana por el ingeniero Estadounidense Dick Morley. Antes de los PLC, el control, la secuenciación, y la lógica para la manufactura de automóviles era realizada utilizando relés, contadores, y controladores dedicados. El proceso para actualizar dichas instalaciones en la industria año tras año era muy costoso y consumía mucho tiempo, y los sistemas basados en relés tenían que ser recableados por electricistas especializados. En 1968 GM Hydramatic (la división de transmisiones automáticas de General Motors) ofertó un concurso para una propuesta del reemplazo electrónico de los sistemas cableados.

La propuesta ganadora vino de Bedford Associates de Boston, Massachusetts. El primer PLC, fue designado 084, debido a que fue el proyecto ochenta y cuatro de Bedford Associates. Bedford Associates creó una nueva compañía dedicada al desarrollo, manufactura, venta y

<i>Control</i>	<i>Proceso</i>		<i>Cambios de carga</i>	<i>Aplicaciones</i>
	<i>Capacitancia</i>	<i>Resistencia</i>		
Todo-nada	Grande	Cualquiera	Cualquiera	Control de nivel y temperatura en procesos de gran capacidad
Flotante	Media	»	»	Procesos con pequeños tiempos de retardo
Proporcional	Pequeña a media	Pequeña	Moderados	Presión, temperatura y nivel donde el offset no es inconveniente
Proporcional + integral	Cualquiera	»	Cualquiera	La mayor parte de aplicaciones, incluyendo el caudal
Proporcional + derivada	Media	»	»	Cuando es necesaria una gran estabilidad con un offset mínimo y sin necesidad de acción integral
Proporcional + integral + derivada	Cualquiera	Grande	Rápido	Procesos con cambios rápidos y retardos apreciables (control de temperaturas en intercambiador de calor)

Figura 1.8: Guía de selección de un sistema de control

servicio para este nuevo producto: Modicon (MODular DIGital CONtroller o Controlador Digital Modular). Una de las personas que trabajó en ese proyecto fue Dick Morley, el que es considerado como "padre" del PLC. La marca Modicon fue vendida en 1977 a Gould Electronics, y posteriormente adquirida por la compañía Alemana AEG y más tarde por Schneider Electric, el actual dueño.

Uno de los primeros modelos 084 que se construyeron se encuentra mostrado en la sede de Modicon en el Norte de Andover, Massachusetts. Fue regalado a Modicon por GM, cuando la unidad fue retirada tras casi veinte años de servicio ininterrumpido.

La industria automotriz es todavía una de las más grandes usuarias de PLC, y Modicon todavía numera algunos de sus modelos de controladores con la terminación ochenta y cuatro. Los PLC son utilizados en muchas diferentes industrias y máquinas tales como máquinas de empaquetado y de semiconductores. Algunas marcas con alto prestigio son ABB Ltd., Koyo, Honeywell, Siemens, Trend Controls, Schneider Electric, Omron, Rockwell (Allen-Bradley), General Electric, Tesco Controls, Panasonic (Matsushita), Mitsubishi e Isi Matrix machines.

1.5. PLC

El PLC es un dispositivo de estado sólido, diseñado para controlar procesos secuenciales, es decir una etapa después de la otra, en tiempo real y en un ambiente de tipo industrial, es decir, están diseñados para operar en ambientes hostiles como los que se encuentran en la industria

Los PLC pueden realizar las siguientes actividades:

1. Leer datos de fuentes de entrada a través de señales digitales y analógicas.
2. Tomar decisiones en base a criterios preprogramados.
3. Almacenar datos en la memoria.
4. Generar ciclos de tiempo.
5. Realizar cálculos matemáticos.
6. Actuar sobre los dispositivos externos mediante salidas analógicas y digitales.
7. Comunicarse con otros sistemas externos.

1.5.1. Funcionamiento del PLC

Una vez que se pone en marcha, el procesador realiza las siguientes tareas en el siguiente orden:

- a) Lee todas las entradas y almacena el estado de cada una de ellas.
- b) Ejecuta las operaciones del programa siguiendo el orden en que sean grabado.
- c) Escribe el resultado de las operaciones en las salidas.
- d) Una vez escritas todas las salidas activando o desactivando las que el resultado de las operaciones así lo requieran, regresa al paso a) formando un ciclo llamado scan este ciclo se repite indefinidamente hasta que pasemos el conmutador a la posición stop.

1.5.2. Periféricos

Los periféricos constituyen la interfaz entre el PLC y el sistema controlado, y pueden ser:

- Señales digitales o discretas: tienen solo dos estados y uno de ellos corresponderá al On y otro al Off. Un PLC puede utilizar 24V de corriente continua en la E/S donde valores superiores a 22V representan un On, y valores inferiores a 2V representan Off; los botones e interruptores son ejemplos de dispositivos que proporcionan una señal discreta.

- Señales analógicas: son como controles de volúmenes, con un rango de valores entre 0 y el tope de la escala. Esto es normalmente interpretado con valores enteros por el PLC, con varios rangos de precisión dependiendo del dispositivo o del número de bits disponibles para almacenar los datos. Presión, temperatura, flujo, y peso son normalmente representados por señales analógicas. Las señales analógicas pueden usar tensión o intensidad con una magnitud proporcional al valor de la señal que procesamos. Por ejemplo, una entrada de 4-20 mA o 0-10 V será convertida en enteros comprendidos entre 0-32767.

1.6. Capacidades E/S en los PLC modulares

Los PLC modulares tienen un limitado número de conexiones para la entrada y la salida. Normalmente, hay disponibles ampliaciones si el modelo base no tiene suficientes puertos E/S.

Los PLC con forma de rack tienen módulos con procesadores y con módulos de E/S separados y opcionales, que pueden llegar a ocupar varios racks. A menudo hay miles de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. A veces, se usa un puerto serie especial de E/S que se usa para que algunos racks puedan estar colocados a larga distancia del procesador, reduciendo el costo de cables en grandes empresas.

Los PLC usados en grandes sistemas de E/S tienen comunicaciones P2P entre los procesadores. Esto permite separar partes de un proceso complejo para tener controles individuales mientras se permita a los subsistemas comunicarse mediante links. Estos links son usados a menudo por dispositivos HMI como keypads o estaciones de trabajo basados en PC.

El número medio de entradas de un PLC es 3 veces el de salidas, tanto en analógico como en digital. Las entradas “extra” vienen de la necesidad de tener métodos redundantes para controlar apropiadamente los dispositivos, y de necesitar siempre más controles de entrada para satisfacer la realimentación de los dispositivos conectados.

1.7. Hardware

El hardware del PLC, al ser básicamente una computadora, se puede dividir de la siguiente forma:

1. La fuente de alimentación, suministra los voltajes de corriente continua (c.c) que necesitan los circuitos electrónicos del PLC para poder funcionar. La misión fundamental de esta batería está en que la CPU conserve datos como son el programa, la hora y la fecha, datos que almacena en una memoria RAM (La memoria RAM es una memoria que tiene la particularidad de perder todo lo que tiene almacenado cuando pierde la alimentación). Al lado de la fuente de alimentación está situada la CPU, en la parte superior de esta tarjeta tenemos una ranura en la que se inserta la memoria EPROM. Este tipo de memoria tiene la particularidad de que mantiene la información aunque no esté alimentada. En esta tarjeta, está grabado el programa que va a ejecutar el PLC; nos va

a servir para recargar el programa en el PLC, si, por cualquier motivo, éste se borrarse de la memoria RAM.

2. La CPU, o Unidad de Control de Proceso, en la que va alojado el microprocesador (que es el cerebro del sistema) junto con los dispositivos necesarios para que éste realice su función: las tarjetas de memoria, el reloj, etc.
3. Las tarjetas de entradas/salidas, o tarjetas I/O, en las que otros circuitos integrados se encargan de que el microprocesador sea capaz de comunicarse con otros dispositivos. Las tarjetas de entradas o salidas digitales, como su nombre lo indica, sólo trabajan con señales digitales, las señales digitales sólo admiten dos estados: “0” (o ausencia de tensión), “1” (presencia de tensión).

1.8. Programación

Los primeros PLC, en la primera mitad de los 80, eran programados usando sistemas de programación propietarios o terminales de programación especializados, que a menudo tenían teclas de funciones dedicadas que representaban los elementos lógicos de los programas de PLC.

Los programas eran guardados en cintas. Más recientemente, los programas PLC son escritos en aplicaciones especiales en un ordenador, y luego son descargados directamente mediante un cable o una red al PLC. Los PLC viejos usan una memoria no volátil (magnetic core memory) pero ahora los programas son guardados en una RAM con batería propia o en otros sistemas de memoria no volátil como las memoria flash.

Los primeros PLC fueron diseñados para ser usados por electricistas que podían aprender a programar los PLC en el trabajo. Estos PLC eran programados con “lógica de escalera” (“ladder logic”). Los PLC modernos pueden ser programados de muchas formas, desde la lógica de escalera hasta lenguajes de programación tradicionales como el BASIC o C. Otro método es usar la Lógica de Estados (State Logic), un lenguaje de programación de alto nivel diseñado para programas PLC basándose en los diagramas de transición de estados.

Recientemente, el estándar internacional IEC 61131-3 define cinco lenguajes de programación para los sistemas de control programables: FBD (Function block diagram), LD (Ladder diagram), ST (Structured text, similar al lenguaje de programación Pascal), IL (Instruction list) y SFC (Sequential function chart).

Mientras que los conceptos fundamentales de la programación del PLC son comunes a todos los fabricantes, las diferencias en el direccionamiento E/S, la organización de la memoria y el conjunto de instrucciones hace que los programas de los PLC nunca se puedan usar entre diversos fabricantes. Incluso dentro de la misma línea de productos de un solo fabricante, diversos modelos pueden no ser directamente compatibles.

1.9. Comunicaciones

Las formas como los PLC intercambian datos con otros dispositivos son muy variadas. Típicamente un PLC puede tener integrado puertos de comunicaciones seriales que pueden cumplir con distintos estándares de acuerdo al fabricante.

Estos puertos pueden ser de los siguientes tipos:

- RS232C
- RS485
- RS422
- Ethernet

Sobre estos tipos de puertos de hardware las comunicaciones se establecen utilizando algún tipo de protocolo o lenguaje de comunicaciones. En esencia un protocolo de comunicaciones define la manera como los datos son empaquetados para su transmisión y como son codificados. De estos protocolos los más conocidos son:

- Modbus
- CANBus
- Profibus

Muchos fabricantes además ofrecen distintas maneras de comunicar sus PLC con el mundo exterior mediante esquemas de hardware y software protegidos por patentes.[3].

1.10. PLC en comparación con otros sistemas de control

Los PLC están adaptados para un amplio rango de tareas de automatización. Estos son típicos en procesos industriales en la manufactura donde el costo de desarrollo y mantenimiento de un sistema de automatización es relativamente alto contra el costo de la automatización, y donde van a existir cambios en el sistema durante toda su vida operacional. Los PLC contienen todo lo necesario para manejar altas cargas de potencia; se requiere poco diseño eléctrico y el problema de diseño se centra en expresar las operaciones y secuencias en la lógica de escalera (o diagramas de funciones). Las aplicaciones de PLC son normalmente hechos a la medida del sistema, por lo que el costo del PLC es bajo comparado con el costo de la contratación del diseñador para un diseño específico que solo se va a usar una sola vez. Por otro lado, en caso de productos de alta producción, los sistemas de control a medida se amortizan por sí solos rápidamente debido al ahorro en los componentes, lo que provoca que pueda ser una buena elección en vez de una solución genérica. Sin embargo, debe ser notado que algunos PLC ya no tienen un precio alto. Los PLC actuales tienen todas las capacidades por algunos cientos de dólares.

Diferentes técnicas son utilizadas para un alto volumen o una simple tarea de automatización, Por ejemplo, una lavadora de uso doméstico puede ser controlada por un temporizador electromecánico costando algunos cuantos dólares en cantidades de producción.

Un diseño basado en un microcontrolador puede ser apropiado donde cientos o miles de unidades deben ser producidas y entonces el costo de desarrollo (diseño de fuentes de

alimentación y equipo de entradas y salidas) puede ser dividido en muchas partes, donde el usuario final no tiene necesidad de alterar el control. Aplicaciones automotrices son un ejemplo, millones de unidades son vendidas cada año, y pocos usuarios finales alteran la programación de estos controladores. (Sin embargo, algunos vehículos especiales como son camiones de pasajeros para tránsito urbano utilizan PLC en vez de controladores de diseño propio, debido a que los volúmenes son pequeños y el desarrollo no sería económico.)

Los PLC pueden incluir lógica para implementar bucles analógicos, “proporcional, integral y derivadas” o un controlador PID. Un bucle PID podría ser usado para controlar la temperatura de procesos de fabricación.

1.11. Interfaz de usuario (HMI)

Una interfaz de usuario o HMI ("Human Machine Interface), es el aparato que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso.

La interfaz de usuario es la forma en que las personas pueden comunicarse con una computadora, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo. Sus principales funciones son:

- Herramientas de desarrollo de aplicaciones
- Comunicación con otros sistemas
- Información de estado
- Configuración de la propia interfaz y entorno
- Intercambio de datos entre aplicaciones
- Control de acceso
- Sistema de ayuda interactivo.

Se tienen dos tipos de interfaz de usuario:

- Interfaces alfanuméricas (intérpretes de mandatos).
- Interfaces gráficas de usuario (GUI, Graphics User Interfaces, por sus siglas en inglés),

las que permiten comunicarse con el ordenador de una forma muy rápida.

Y pueden ser de hardware o de software:

- En el primer caso se trata de un conjunto de dispositivos que permiten la interacción hombre-máquina, de modo que permiten ingresar y tomar datos del ordenador.
- También están las interfaces de software que son programas o parte de ellos que permiten expresar nuestros deseos al ordenador[4].

1.12. Sensores

Un sensor es un dispositivo que recibe una señal o estímulo y responde con una señal eléctrica. Esto es independiente de si el sensor requiere excitación o no para generar la señal eléctrica. Ejemplos: Sensor piezoeléctrico, termopar, galga extensiométrica.

Estos dispositivos eléctricos y/o mecánicos que convierten magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles de dicha magnitud. Esto se realiza en tres fases:

- Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.
- El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cuál pasa a un conversor A/D, conectado a una PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

Para poder hacer una elección del sensor o sensores adecuados a la aplicación es necesario tomar en cuenta los siguientes factores que determinan el comportamiento del sensor:

- Rango: valores máximos y mínimos para las variables de entrada y salida de un sensor.
- Exactitud: la desviación de la lectura de un sistema de medida respecto a una entrada conocida. El mayor error esperado entre las señales medida e ideal.
- Repetitividad: la capacidad de reproducir una lectura con una precisión dada.
- Reproducibilidad: tiene el mismo sentido que la repetitividad excepto que se utiliza cuando se toman medidas distintas bajo condiciones diferentes.
- Resolución: la cantidad de medida más pequeña que se pueda detectar.
- Error: es la diferencia entre el valor medido y el valor real.
- Sensibilidad: es la razón de cambio de la salida frente a cambios en la entrada.
- Excitación: es la cantidad de corriente o voltaje requerida para el funcionamiento del sensor.
- Estabilidad: es una medida de la posibilidad de un sensor de mostrar la misma salida en un rango en que la entrada permanece constante.
- Tiempo de retardo: es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el 50 % de su valor final.
- Tiempo de subida: es el tiempo que tarda la salida del sensor hasta alcanzar su valor final. => velocidad del sensor, es decir, lo rápido que responde ante una entrada.
- Tiempo de pico: es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el pico Máximo de su sobre oscilación.
- Pico de sobre oscilación: expresa cuanto se eleva la evolución temporal de la salida del sensor respecto de su valor final.
- Tiempo de establecimiento: es el tiempo que tarda la salida del sensor en entrar en la banda del 5 % alrededor del valor final y ya no vuelve a salir de ella.

- **Proceso de calibración:** consiste en realizar la comparación de la respuesta del sensor con otros que tienen una respuesta estándar conocida; de esta manera se establece la relación entre la variable medida por el sensor y su señal de salida.

1.13. Válvulas

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios y son unos de los instrumentos de control esenciales en la industria. Están compuestas por dos elementos principales:

- **Actuador:** el actuador también llamado accionador puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son el neumático y el eléctrico. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte, lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago.
- **Cuerpo de la válvula:** este está provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula.

Las válvulas generalmente constituyen el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

Capítulo 2

Elementos del sistema de control del intercambiador de calor

2.1. Sensores de presión

Suelen estar basados en la deformación de un elemento elástico cuyo movimiento es detectado por un transductor que convierte pequeños desplazamientos en señales eléctricas analógicas, mas tarde se pueden obtener salidas digitales acondicionando la señal.

Pueden efectuar medidas de presión absoluta (respecto a una referencia) y de presión relativa o diferencial (midiendo diferencia de presión entre dos puntos) generalmente vienen con visualizadores e indicadores de funcionamiento. A continuación se definen algunos sensores de presión.

2.1.1. Tubo de Bourdon

El tubo de Bourdon es el sensor de presión más común, desarrollado por el ingeniero francés Eugene Bourdon, y el cual se ilustra en la Figura 2.1; consiste básicamente en un tramo de tubo en forma de herradura, con un extremo sellado y el otro conectado a la fuente de presión. Debido a que la sección transversal del tubo es elíptica o plana, al aplicar una presión el tubo tiende a enderezarse, y al quitarla, el tubo retorna a su forma original, siempre y cuando no se rebase el límite de elasticidad del material del tubo. La cantidad de enderezamiento que sufre el tubo es proporcional a la presión que se aplica, como el extremo abierto del tubo está fijo, entonces el extremo cerrado se puede conectar a un indicador, para señalar la presión; o a un transmisor, para generar una señal neumática o eléctrica [1].

El rango de presión que se puede medir con el tubo de Bourdon depende del espesor de las paredes y del material con que se fabrica el tubo. Posteriormente se desarrolló una versión extendida del tubo de Bourdon en forma de helicoide para dar más movimiento extremo sellado; este elemento se denomina hélice y se ilustra en la Figura 2.2. Con la hélice se pueden manejar rangos de presión, con una exactitud de (+,-) 1 % de la escala calibrada.

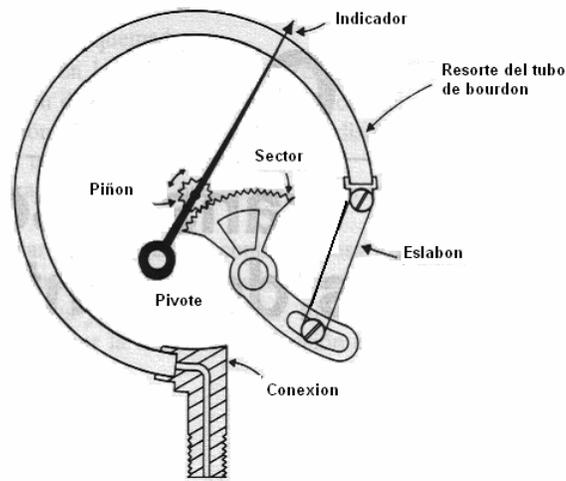


Figura 2.1: Tubo de Bourdon sencillo.

2.1.2. Sensor de fuelle

Es otro tipo de sensor de presión, el cual se ilustra en las Figuras 2.3 y 2.4, el cual semeja una cápsula corrugada hecha de algún material elástico, por ejemplo, acero inoxidable o latón; al aumentar la presión, el fuelle se expande (o se contrae), y cuando disminuye, se contrae (o expande). La cantidad de expansión o contracción es proporcional a la presión que se aplica. Este tipo de sensor de presión es el que se aplica en este sistema de control [1].

2.1.3. Sensor de diafragma

Es semejante al de fuelle es el que se muestra en la Figura 2.5 y 2.6; cuando se incrementa la presión en el proceso, el centro del diafragma se comprime; la cantidad de movimiento es proporcional a la presión que se aplica [1].

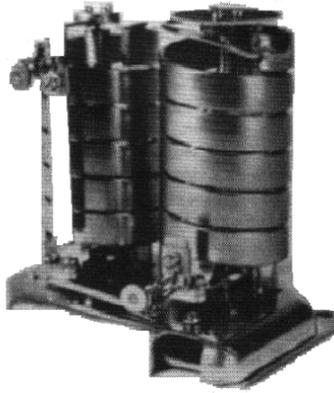


Figura 2.2: Tubo de bourdon en forma de helicoide.

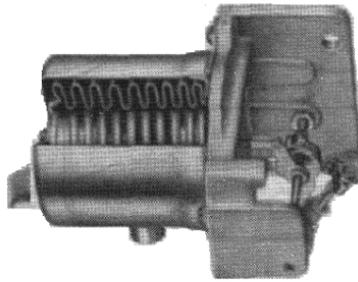


Figura 2.3: Sensor de presión con fuelle.

2.2. Sensores de temperatura

La temperatura, es una de las variables que con mayor frecuencia se mide en la industria; una razón simple es que casi todos los fenómenos físicos se ven afectados por ésta. La temperatura se utiliza frecuentemente para inferir otras variables del proceso; como pueden ser las columnas de destilación, en los reactores químicos; en las columnas de destilación se utiliza la temperatura para inferir la pureza de una de las corrientes existentes; en los reactores químicos la temperatura se utiliza como un indicador de la extensión de la conversión o reacción.

En este caso es una de las condiciones que se debe cumplir en el proceso, ya que de acuerdo al valor de está variable el sistema de control del intercambiador de calor debe ser capaz de finalizar o continuar con este.

A causa de los múltiples efectos que se producen con la temperatura, se han desarrollado numerosos dispositivos para medirla; con muy pocas excepciones, los dispositivos caen en tres clasificaciones generales:

- Termómetro de expansión

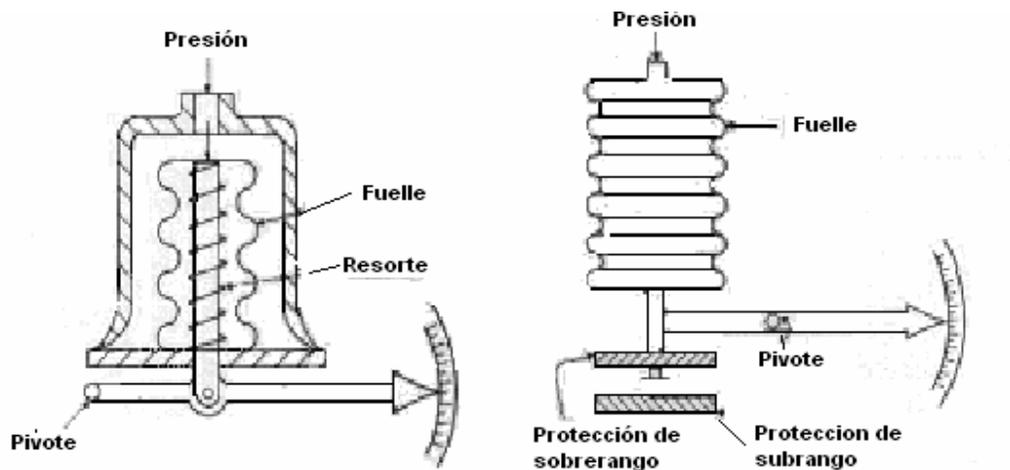


Figura 2.4: Funcionamiento interno de un sensor de presión con fuelle.

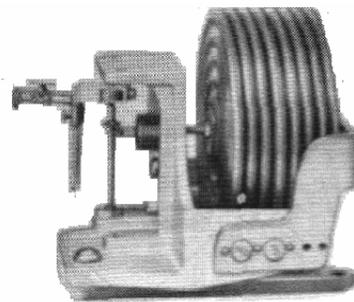


Figura 2.5: Sensor de presión con diafragma

- a) Termómetro de líquido en vidrio
- b) Termómetro de expansión de sólidos (tira bimetálica).
- c) Termómetros de sistema lleno (termómetros a presión)
 - 1. Llenos de gas
 - 2. Llenos de líquido
 - 3. Llenos de vapor
 - Dispositivos con sensor de resistencia
- a) Termómetros de resistencia
- b) Termistores

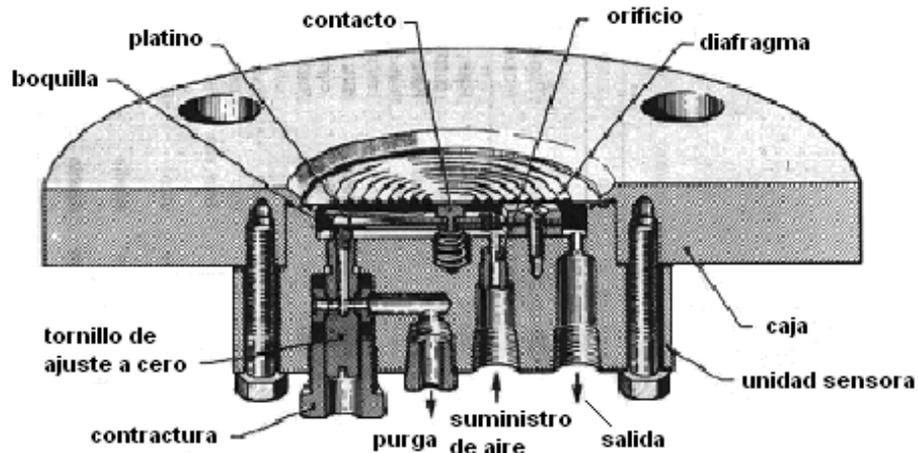


Figura 2.6: Funcionamiento interno de un sensor de presión con diafragma.

- Termopares
- a) Pirómetros ópticos
- b) Pirométricos por radiación
- c) Técnicas infrarrojas

2.2.1. Termómetros de expansión

Con los termómetros de vidrio con líquido se indica el cambio de temperatura que causa la diferencia entre el coeficiente de temperatura de expansión del vidrio y del líquido que se utiliza; los líquidos que se utilizan más ampliamente son mercurio y alcohol. Los termómetros de mercurio que se fabrican con vidrio ordinario son útiles entre -35°F y 600°F , el límite inferior se debe al punto de congelación del mercurio y el superior a su punto de ebullición. Si el espacio que queda arriba del mercurio se llena con un gas inerte, generalmente nitrógeno, para evitar la ebullición, el rango útil se puede extender hasta los 950°F ; tales termómetros llevan generalmente la inscripción de llenado con nitrógeno- ("nitrogen filled").

Para temperaturas por debajo del punto de congelación del mercurio (-38°F) se debe emplear otro líquido; para temperaturas abajo de -80°F se utiliza ampliamente el alcohol; para temperaturas hasta de -200°F se utiliza pentano y tolueno para temperaturas abajo de -200°F .

Los termómetros de tira bimetalica trabajan con base en el principio de que los metales se expanden con la temperatura y que los coeficientes de expansión no son los mismos, para todos los metales; en la Figura 2.7 se ilustra un termómetro de tira bimetalico típico.

El elemento sensible a la temperatura se compone de dos metales diferentes que se unen en una tira, el coeficiente de expansión de uno de los metales es alto, y el del otro es bajo; una combinación corriente es el invar (64 % Fe, 36 % Ni), cuyo coeficiente es bajo, y la aleación de níquel-hierro, cuyo coeficiente es alto. Generalmente la expansión con la temperatura es baja, y por esta razón la tira bimetalica se enrolla en forma de espiral; conforme la temperatura se incrementa, la espiral tiende a combarse hacia el lado del metal con bajo coeficiente térmico [1].

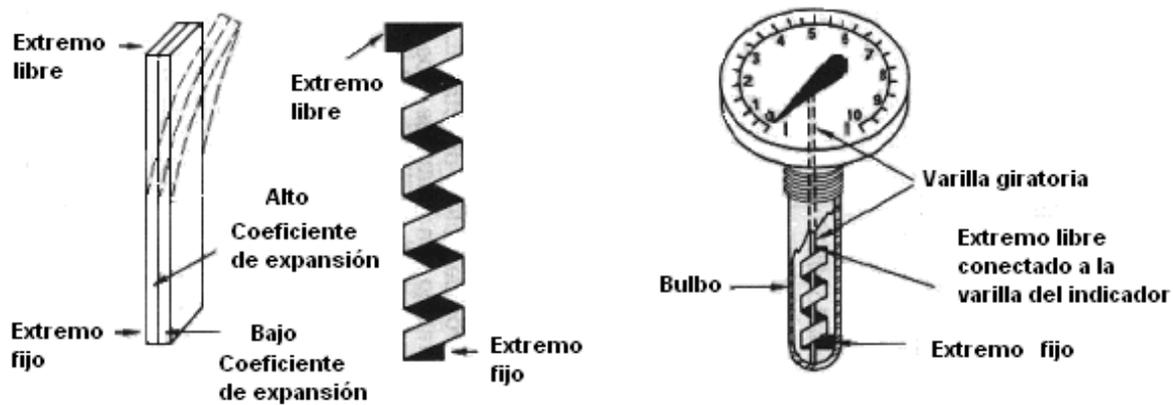


Figura 2.7: Termómetro de tira bimetalica.

En los termómetros de sistema lleno, el líquido del sistema se expande o se contrae con las variaciones de temperatura, lo cual se detecta mediante un resorte de Bourdon y se transmite a un indicador o transmisor. A causa de la simplicidad de su diseño, confiabilidad, bajo costo relativo y seguridad inherente, estos elementos son populares en la industria de proceso. La Scientific Apparatus Manufacturers Association (SAMA por sus siglas en inglés) estableció cuatro clases principales de sistemas llenos, con subclasificaciones. Las diferencias más significativas entre las clasificaciones son el líquido que se utiliza y la compensación de las diferencias de temperatura entre el bulbo, la capilaridad y el resorte de Bourdon; en la Figura 2.8 se muestran varios de estos sistemas llenos.

2.2.2. Dispositivos con sensor de resistencia

Los termómetros de dispositivos resistivos (TDR) son elementos que se basan en el principio de que la resistencia eléctrica de los metales puros se incrementa con la temperatura y, ya que la resistencia eléctrica se puede medir con bastante precisión, esto proporciona un medio para medir la temperatura con mucha exactitud. Un sensor típico es el Pt 100 que consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 Ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal pero

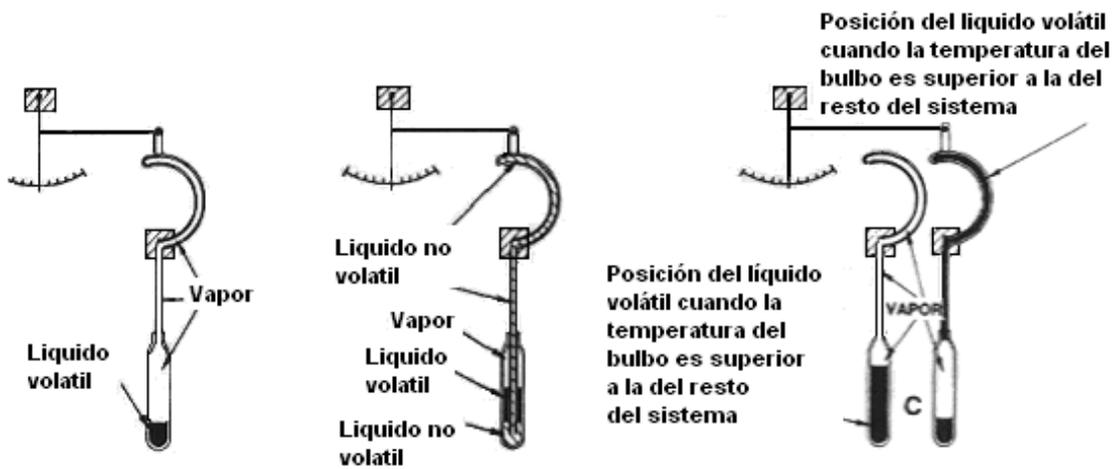


Figura 2.8: Termómetros de sistema lleno.

si creciente y característico del platino, como se muestra en la Figura 2.9, de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

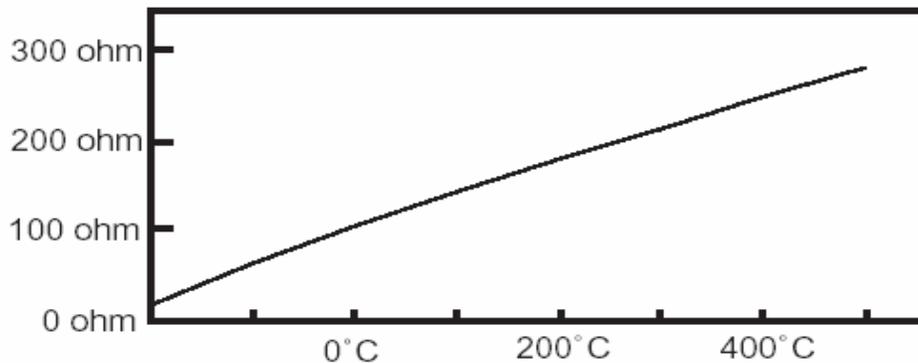


Figura 2.9: Comportamiento de un PT100 con base en la relacion resistencia-temperatura

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable y otro material (vaina), en un extremo se encuentra el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro esta la terminal eléctrica de los cables, protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal). Por otra parte los Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200°C).

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que los Pt100 no se descomponen gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

Este comportamiento es una gran ventaja en usos como cámaras frigoríficas donde una desviación no detectada de la temperatura podría producir algún daño grave. Además los Pt100 pueden ser colocados a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.

2.2.3. Termopares

El último elemento de temperatura en la clasificación antes señalada es el termopar, el cual es el sensor de temperatura industrial más conocido. El principio de funcionamiento del termopar lo descubrió T. J. Seebeck, en 1821; en el efecto de Seebeck, o principio de Seebeck. Establece que hay un flujo de corriente eléctrica en un circuito de dos metales diferentes si las dos uniones están a temperaturas diferentes.

2.3. Válvula proporcional

Este tipo de válvulas regula la presión y el caudal a través de un conducto por medio de una señal eléctrica, que puede ser de corriente o de voltaje, en este caso la señal de control es una señal de corriente que indicara la posición del vástago, ya que los movimientos son proporcionales y precisos, lo que permite un manejo más exacto del paso de vapor.

2.4. Válvula de mariposa

Las válvulas de mariposa son unas válvulas muy versátiles. Tiene una gran capacidad de adaptación a las múltiples aplicaciones industriales por sus diversos tamaños, presiones, temperaturas, conexiones, etc. a un costo relativamente bajo. El funcionamiento básico de las válvulas de mariposa es sencillo pues sólo requiere una rotación de 90° del disco para abrirla por completo; debido a que tienen poco desgaste del eje, poca fricción y por tanto un menor par, que resulta en un actuador más barato (manual o eléctrico) se utiliza esta válvula en el sistema de control.



Figura 2.10: Válvula de mariposa

Capítulo 3

Desarrollo del sistema de control del intercambiador de calor

3.1. Diagrama de bloques

En la figura 3.1. Se presenta el diagrama a bloques del intercambiador de calor, el sistema cumple con el objetivo de mantener la temperatura del líquido contenido en el tanque, cuyo valor es fijado por el operador a través del punto de consigna, se cuenta con una serie de dispositivos para lograr el objetivo. El primero de ellos el controlador (PLC), mantiene la señal de entrada SP constante para cada valor deseado fijado por el operador, mediante la variación de la señal de salida del PLC (4 - 20mA) que pasa a un convertidor de corriente a presión I/P y llega a la válvula proporcional modificando la posición de su vástago para controlar el caudal de vapor para aumentarlo o disminuirlo de acuerdo al error entre SP y el elemento de medida (Pt100).

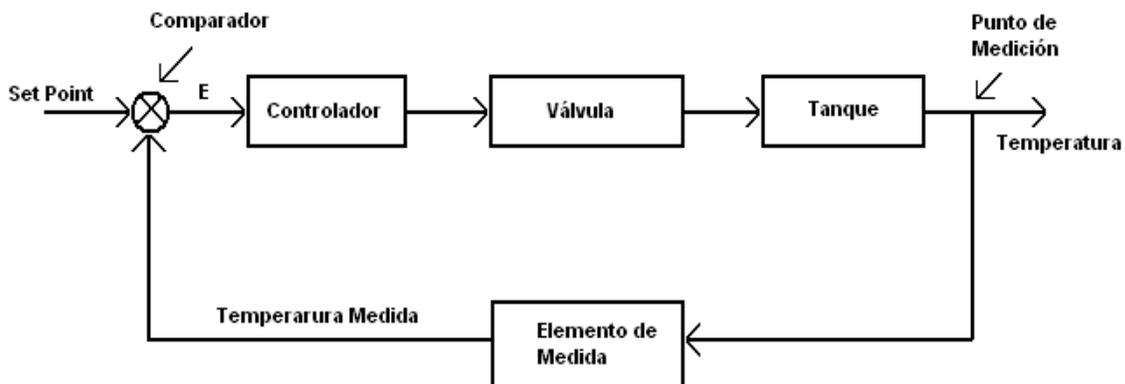


Figura 3.1: Diagrama a bloques del intercambiador de calor.

Para el sistema que se muestra en la Figura 3.2 se requiere que la temperatura del líquido que se encuentra en el tanque, y que a su vez proviene de un intercambiador de calor se encuentre en el rango del punto de consigna, si no es así, es necesario que el líquido se este recirculando por el intercambiador de calor hasta alcanzar la temperatura indicada, para hacer esto es necesario controlar el accionamiento de la bomba y la apertura de la válvula de mariposa; la temperatura con que sale el líquido del intercambiador se controla mediante la manipulación de la posición de la válvula proporcional.

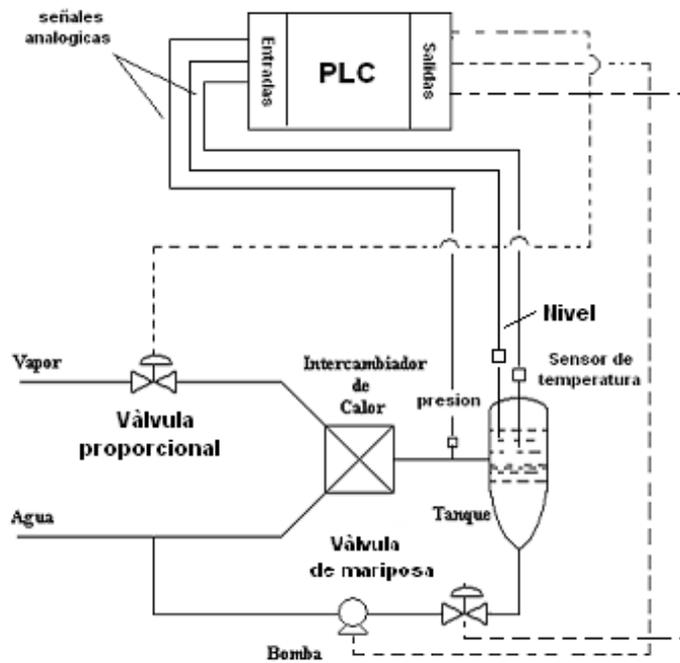


Figura 3.2: Intercambiador de calor

De igual manera es necesario controlar la presión generada en el intercambiador, el rango óptimo de funcionamiento del sensor de presión tipo fuelle es menor a 3 bar. El sensor de temperatura que se va a utilizar es un Pt 100, debido a que proporciona una lectura de la temperatura con mucha exactitud. Con el valor de la resistencia es posible conocer el valor de la temperatura correspondiente (Ver anexo A).

3.2. Declaración de variables en el software Versapro

Comenzando con el análisis de la parte de control en la Tabla 3.1 se dan a conocer las variables declaradas para la realización del programa en lenguaje escalera en el software

Versapro propio de la marca de GE Fanuc de la serie 90-30, para el sistema de control de un intercambiador de calor.

Los valores determinados de corriente del ciclo interno del sistema del PLC para las variables de temperatura y presión se muestran en las tablas 3.2 y 3.3

En la tabla se describen los valores de la temperatura en un rango de 0 °C a 100 °C

3.3. Lenguaje escalera en el software Versapro

RENGLÓN 1: El arranque del sistema se hace mediante el siguiente bloque; el contacto %I00001 es una señal física, el contacto %M00011 es una señal que proviene de la HMI, al activarse cualquiera de estos dos contactos se activa la memoria %M00001 que a su vez se enclava, de esta forma con un solo pulso el sistema se mantiene trabajando.

Sin embargo, se encuentran cuatros contactos más, en serie; normalmente cerrados %M00002 que es una protección de nivel en el tanque, %M00010 que es el control de paros del sistema, %M11 que es el botón de paro desde el HMI y %I3 que corresponde al botón de paro de emergencia físico, estos últimos cuatro contactos al recibir como entrada un pulso pasan a contactos normalmente abiertos y de esta forma evitan que el sistema continúe trabajando.

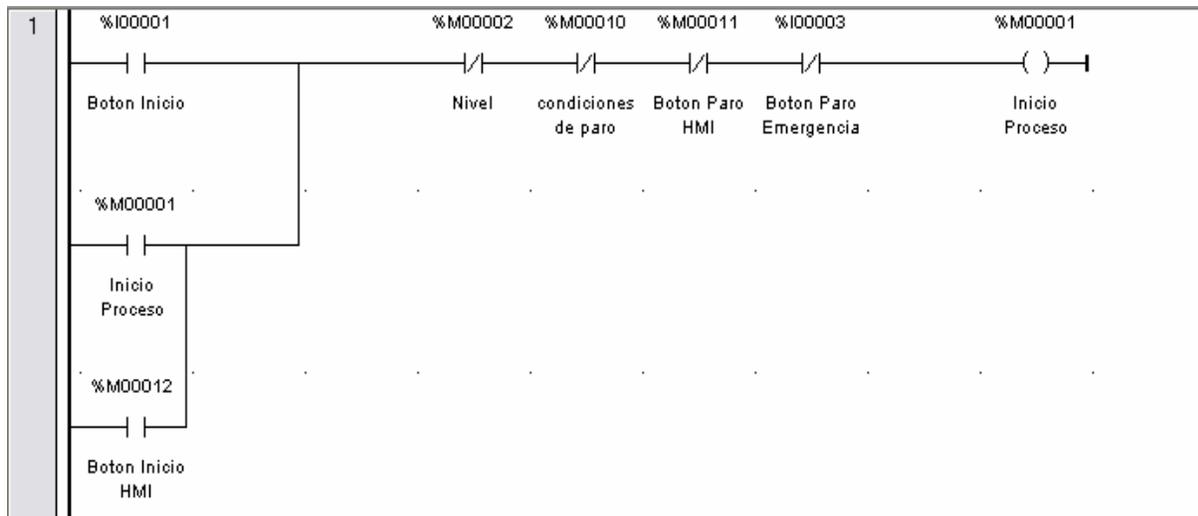


Figura 3.3: Arranque del sistema.

DIRECCIONES EN EL PLC	TIPO	DESCRIPCIÓN
%I1	BIT	BOTÓN INICIO
%I3	BIT	BOTÓN PARO DE EMERGENCIA
%AI1	WORD	SENSOR DE TEMPERATURA
%AI2	WORD	SENSOR DE PRESIÓN
%AI3	WORD	SENSOR DE NIVEL
%Q1	BIT	BOMBA
%AQ1	WORD	VÁLVULA DE CONTROL
%M1	BIT	INICIO DE PROCESO
%M2	BIT	PROTECCIÓN NIVEL
%M3	BIT	PRESIÓN ELEVADA
%M4	BIT	PRESIÓN OK
%M5	BIT	COMPARACIÓN DE TEMPERATURA
%M6	BIT	MODO MANUAL
%M7	BIT	UP
%M8	BIT	DOWN
%M9	BIT	TEMPERATURA OK
%M10	BIT	CONDICIONES DE PARO
%M11	BIT	BOTON ARRANQUE HMI
%M12	BIT	BOTON INICIO HMI
%M20	BIT	MANDA UN PULSO AL PID DESDE HMI
%M203	BIT	MONITOREO PID
%S7	BIT	SIEMPRE ENCENDIDO
%R1	WORD	DIRECCIÓN DEL PID
%R80	WORD	MAYOR IGUAL QUE
%R100	WORD	TEMPORIZADOR ON-DELAY
%R14	WORD	ALMACENA OPERACIONES DE UP-DOWN
%R50	WORD	SET POINT
%R51	WORD	DISPLAY HMI VÁLVULA DE CONTROL
%R55	WORD	CONVERSIÓN SET POINT

Cuadro 3.1: Declaración de variables

PRESION (Bar)	CORRIENTE (mA)	PLC (Bytes)
0	4	0
1	5.6	3200
2	7.2	6400
3	8.8	9600
4	10.4	12800
5	12	16000
6	13.6	19200
7	15.2	22400
8	16.8	25600
9	18.4	28800
10	20	32000

Cuadro 3.2: Valores determinados para la variable presión

TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (mA)	PLC (Bytes)
0	4	0
5	4.8	1600
10	5.6	3200
15	6.4	4800
20	7.2	6400
25	8	8000
30	8.8	9600
35	9.6	11200
40	10.4	12800
45	11.2	14400
50	12	16000
55	12.8	17600
60	13.6	19200
65	14.4	20800
70	15.2	22400
75	16	24000
80	16.8	25600
85	17.6	27200
90	18.4	28800
95	19.2	30400
100	20	32000

Cuadro 3.3: Valores determinados para la variable temperatura.

RENGLÓN 2: La protección de nivel en el tanque es mediante un sensor de nivel analógico con dirección %AI3, cuyo valor es comparado en un bloque de menor o igual que en relación a el valor de 1600 bytes que representa el 5% de nivel en el tanque, si esta condición se cumple se activa la %M2 que corresponde a la protección de nivel declarada en el renglón 1 y que al ser activada interrumpe el funcionamiento del sistema.

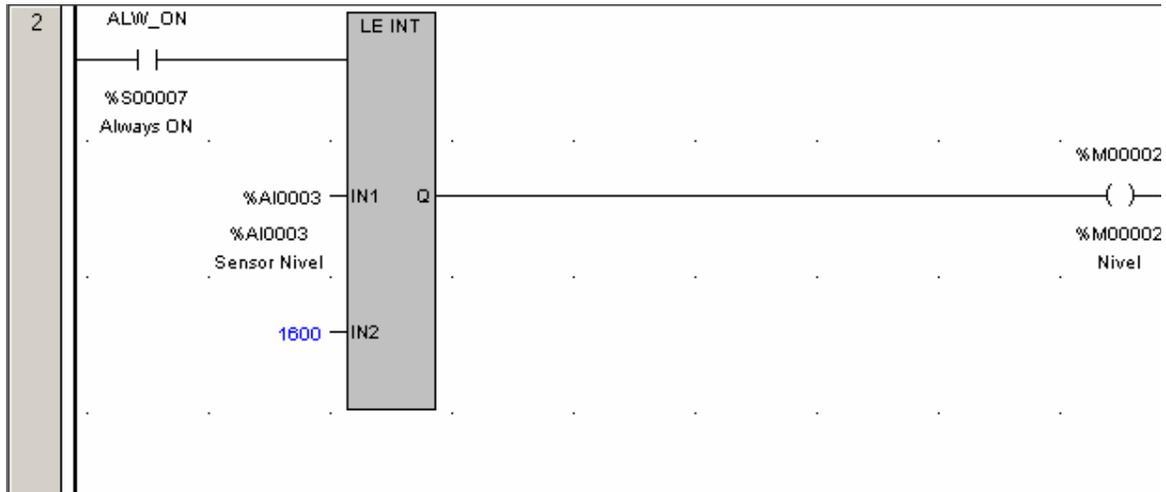


Figura 3.4: Protección de nivel.

RENGLÓN 3: Bloques del PID (Controlador Proporcional Integral Derivativo), en este bloque se declara el registro %R1 que corresponde a la dirección del bloque de PID, la memoria %M20 activa el Bloque de CLR para el PID, que se encarga de limpiar los valores de los registros del PID y cada que se activa %M20 se cargan los valores iniciales al bloque PID.

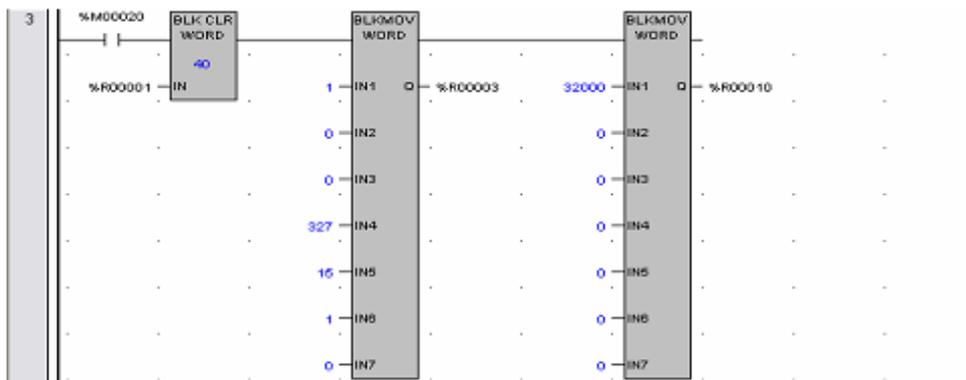


Figura 3.5: Bloques del PID.

RENGLÓN 4: Bloque PID el cual es alimentado a la entrada por un registro %R7 “Always-ON” que mantiene siempre activo al PID, SP es el que se introduce desde la HMI, el valor es guardado en el registro %R55 que almacena la señal del Set Point, el modo MANUAL es activado por un pulso en la memoria %M6, la memoria %M7 corresponde al UP (subir) y %M8 al DN (bajar) respectivamente, la entrada analógica que proporciona el sensor de temperatura, %AI1 es declarada como la PV y la salida analógica que manipula la apertura y cierre de la válvula de control corresponde a la CV tiene la dirección de %AQ1. Éste bloque es el que permite tener un control a lazo cerrado de la variable temperatura manteniendo su valor lo mas aproximado al valor del registro %R55.

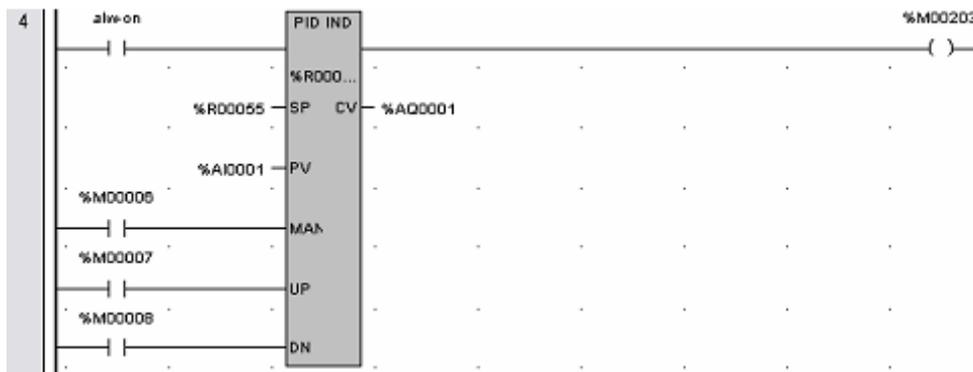


Figura 3.6: Controlador PID.

RENGLÓN 5: Este bloque es un comparador mayor o igual que, se activa siempre que se arranca el sistema, la entrada analógica %AI0002 corresponde a la señal del sensor analógico de presión, el valor de esta señal siempre es comparado con el valor establecido en la entrada IN2 del comparador que en este caso es de 9600 bytes que corresponde a 3 bar; si el valor de %AI0002 es mayor o igual a 3 bar se activa la bobina %M00003 que corresponde a la alarma de presión elevada y se detiene el sistema por seguridad.

RENGLÓN 6: El siguiente bloque esta siempre activo y es un comparador menor o igual que, la señal analógica %AI0001 corresponde a la lectura de la variable temperatura y siempre que esta sea menor o igual al punto de consigna se activa la bobina %M00004.

RENGLÓN 7: En este mismo bloque se encuentran 3 contactos normalmente cerrados, %M1 que es el inicio del proceso, %M9 que es la temperatura igual al punto de consigna y %M3 que indica la alarma de presión elevada; estos contactos al recibir un pulso interrumpen el voltaje y por consiguiente se deshabilita la bomba.

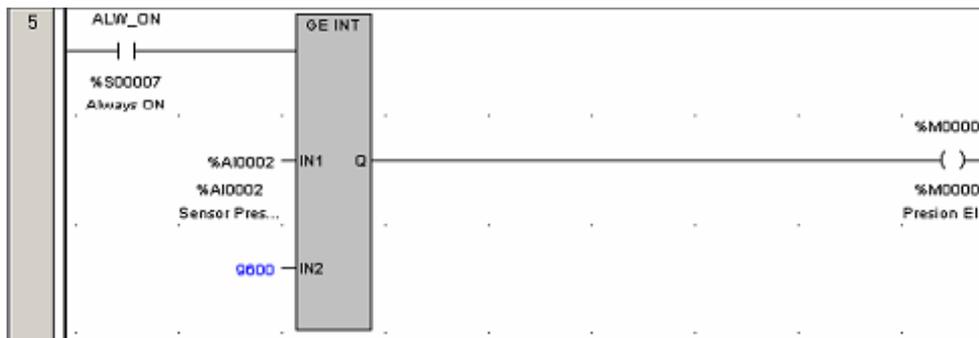


Figura 3.7: Comparador de presión elevada.

RENGLÓN 8: El siguiente bloque es un comparador mayor o igual que, el cual siempre esta activo y cuando la señal analógica %AI0001 correspondiente a la señal del sensor de temperatura sea mayor o igual que el punto de consigna (Set Point) se activa la bobina %M00005, misma que activa el siguiente bloque.

RENGLÓN 9: Este bloque tiene la finalidad de que una vez alcanzada la temperatura del liquido requerida por el operador y establecida en el punto de consigna, el sistema de control continúe trabajando por un lapso de tiempo de 15 minutos y al finalizar este tiempo se activa la memoria %M9 que es una de las condiciones de paro del sistema.

RENGLÓN 10: Se declaran las condiciones de paro del sistema, %M3 corresponde a la condición de presión elevada, %M9 es uno de los paros del sistema que se activa cuando han pasado 15 minutos de que el líquido contenido en el tanque está a la temperatura estipulada en el punto de consigna por el operador; %I3 representa el paro físico de emergencia en el sistema, estos últimos tres contactos son normalmente abiertos y que al ser activados uno o todos en conjunto activan la %M10, la cual se encuentra declarada en el renglón 1 y tiene como finalidad interrumpir el sistema.

RENGLÓN 11: La opción UP del modo manual tiene la dirección %M7 cada que esta es activada suma 320 bytes al valor del registro %R55 correspondiente al Set Point, y el nuevo valor lo almacena en el registro %R14 para ser visualizado en el display de modo manual del HMI.

RENGLÓN 12: La opción DN del modo manual tiene la dirección %M8 que activa este bloque el cual resta 320 bytes al valor del registro %R55 correspondiente al Set Point y el nuevo valor lo almacena en el registro %R14 para ser visualizado en el display de modo manual del HMI.

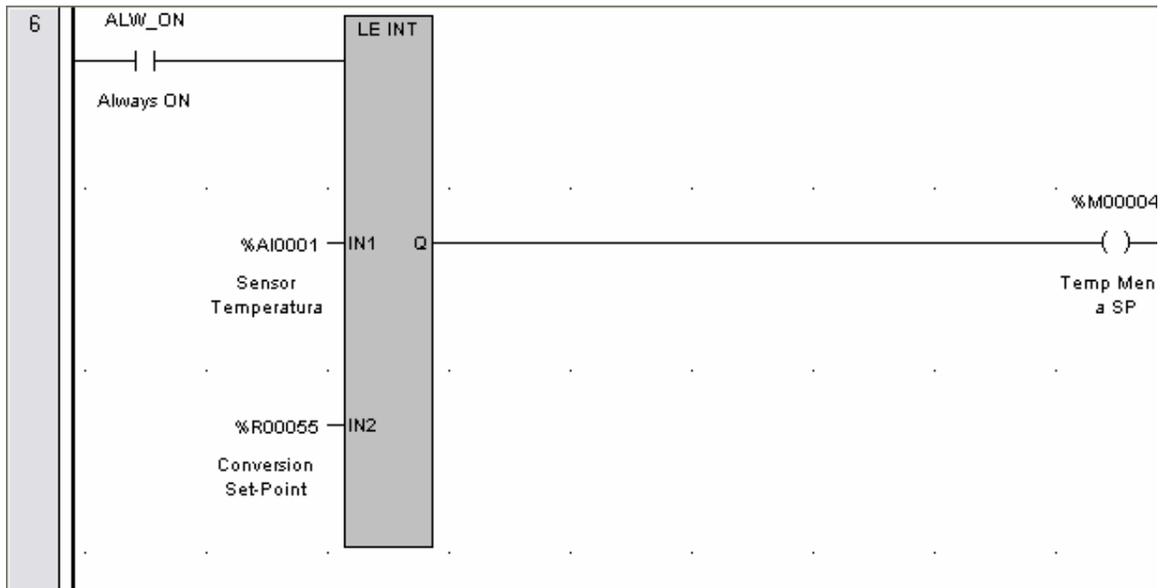


Figura 3.8: Comparador de temperatura.

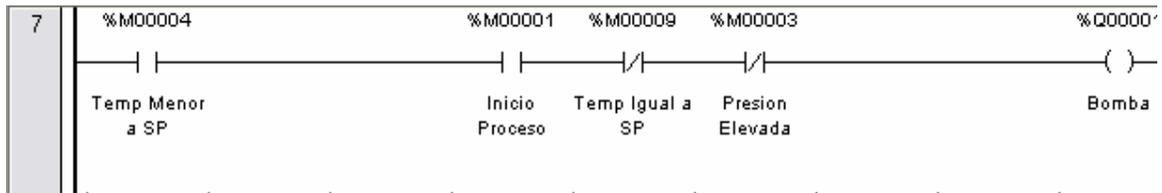


Figura 3.9: Activación de la bomba.

RENGLÓN 13: Este bloque realiza la conversión de los valores del PLC (0-32000 bytes) a valores de temperatura (0-100 °C) con la finalidad de ser visualizados en grados centígrados para el operador en el display del HMI.

RENGLON 14: En este bloque siempre que se active el contacto %M4 se activa la bobina %Q2, salida digital, que corresponde a la válvula de la tubería de circulación de líquido.

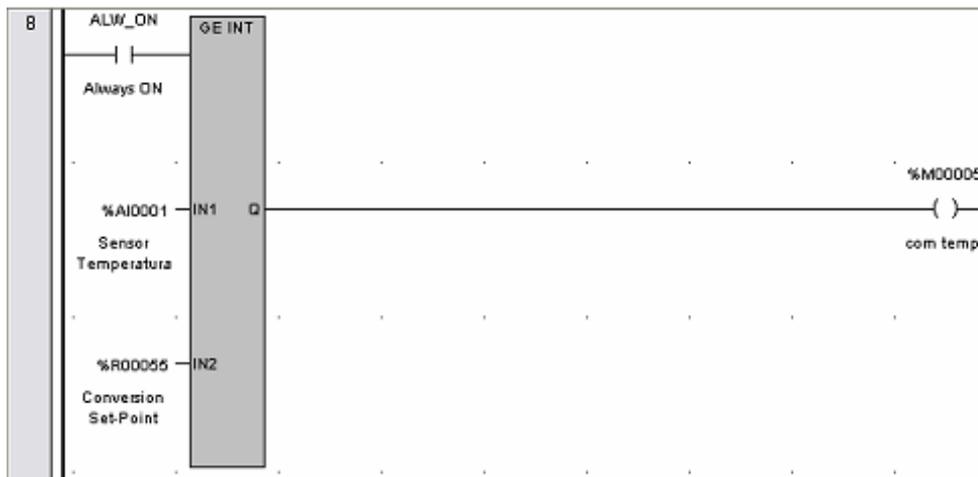


Figura 3.10: Comparador del punto de consigna.

3.4. Configuración del hardware en la programación Versapro

Las placas base de las Series 90-30 están disponibles en dos tamaños: de 5 y de 10 ranuras. Teniendo presente que la ranura de la fuente de alimentación no está numerado, y no se considera como una de las 5 ó 10 ranuras.

Una placa base de 5 posee ranuras para la fuente de alimentación y otros cinco módulos, y una placa base de 10 ranuras posee ranuras para la fuente de alimentación y diez módulos.

La placa base de este sistema de control es de 5 ranuras, y la configuración de sus módulos se representa en la Figura 3.17.

De acuerdo a la representación de la Figura 3.17 se determina las siguientes posiciones:

- Fuente de alimentación: PWR 321, 120/240 VAC, 30 W.
- Ranura 1 en el rack 0: CPU 351, Series 90-30.
- Ranura 2 en el rack 0: módulo 230, Input 120 VAC.
- Ranura 3 en el rack 0: módulo 634, Input 24 VDC.
- Ranura 4 en el rack 0: vacío.
- Ranura 5 en el rack 0: módulo ALG 223, 16 Circuit, Input Analog Current.

La Figura 3.18 representa la configuración del hardware de la placa base remota del PLC, de la cual se determinan los módulos contenidos en sus 5 ranuras.

- Fuente de alimentación: PWR 331, 24 VDC, 30 W.
- Ranura 1 en el rack 1: módulo 930, Output 4A.
- Ranura 2 en el rack 1: módulo 931, Output.
- Ranura 3 en el rack 1: vacío.
- Ranura 4 en el rack 1: vacío.

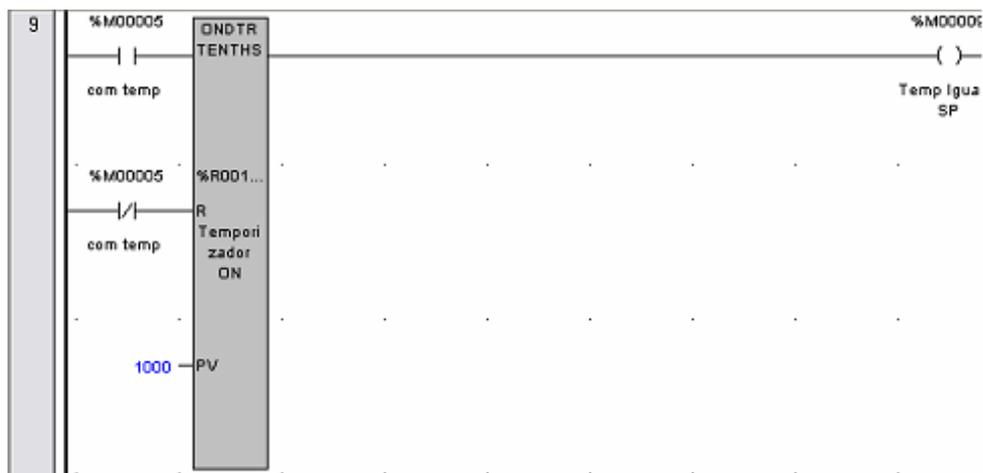


Figura 3.11: Temporizador.

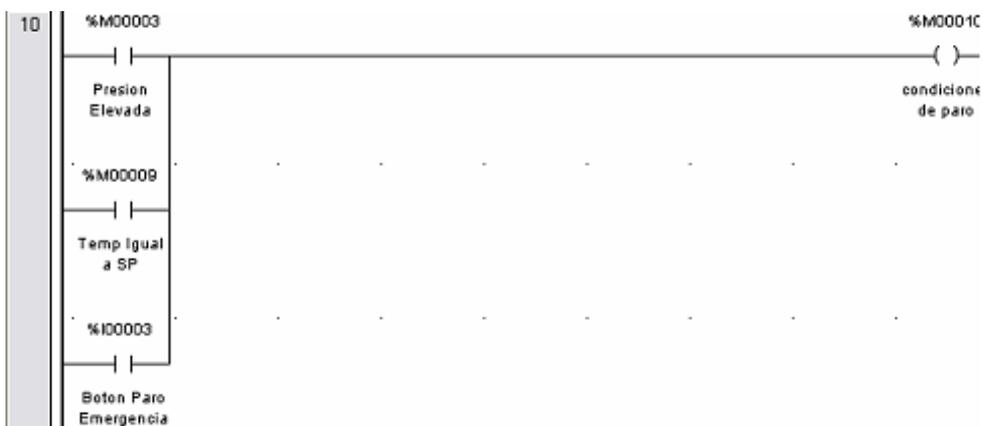


Figura 3.12: Paros del sistema.

- Ranura 5 en el rack 1: módulo ALG 931, 2 Circuit, Output Analog Current.

3.5. Pantallas de HMI en Cimplicity Workbench

La Figura 3.19 muestra la pantalla de puntos declarados en el software Cimplicity Workbench de GE Fanuc de las Series 90-30.

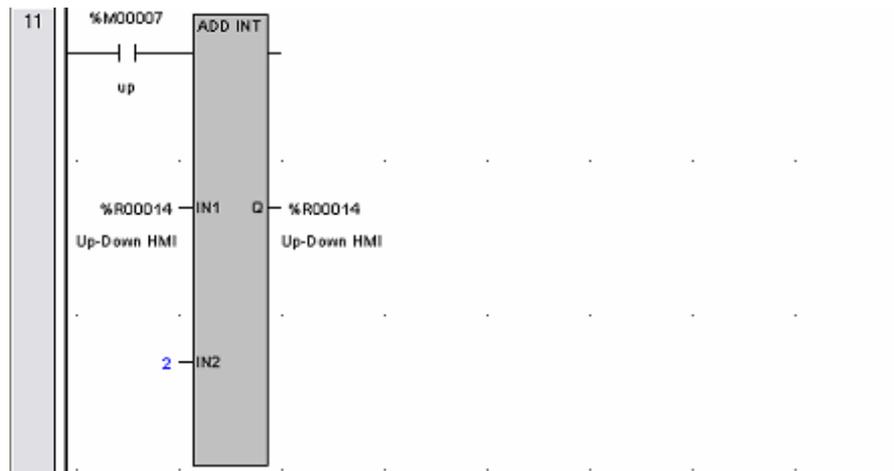


Figura 3.13: Modo manual UP.

El siguiente cuadro 3.4 describe los puntos declarados del HMI en Cimplicity workbench, puntos ligados con las variables del programa escalera realizado en Versapro.

3.5.1. Pantallas de control de temperatura y presión

En la interfaz creada para el sistema de control de un intercambiador de calor, Figura 3.20, se indican cada uno de los grupos que conforman la pantalla de control para las variables de temperatura y presión y que son descritos a continuación.

- 1. Arranque y paro del sistema: Este grupo contiene dos botones, el primer botón corresponde al encendido del sistema y el otro que es el paro físico de emergencia del sistema.
- 2. Control de presión: En este grupo encontramos un display que indica la lectura de la presión en el intercambiador proporcionada por el sensor y presentada al operador en unidades “Bar”, de igual forma encontramos un indicador que se enciende cuando la presión se encuentra elevada dentro del sistema, este indicador es una protección del sistema.

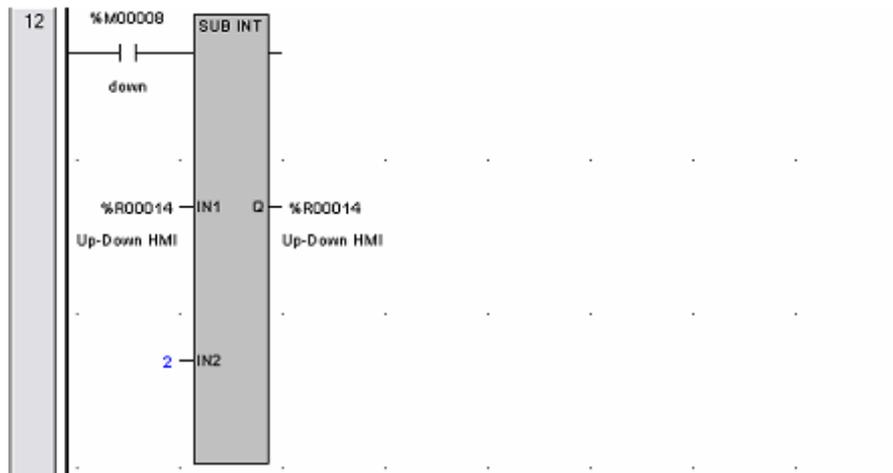


Figura 3.14: Modo manual DN.

- 3. Control de temperatura: Consta de dos elementos al igual que el control de presión, un display que indica la lectura de la temperatura del líquido contenido en el tanque y un indicador que enciende cuando el líquido se encuentra a la temperatura deseada y que fue establecida por el operador mediante el punto de consigna.
- 4. Accionamiento del sistema manual-automático: El botón de la parte superior hace que el sistema trabaje en modo Manual y de esta forma el operador controle la temperatura del líquido en el tanque de forma neumática al controlar la apertura y cierre de la válvula de control de acuerdo a su criterio. El botón inferior corresponde al funcionamiento del sistema en forma automática, de esta forma el operador no puede intervenir en el funcionamiento de la válvula ya que esta permite el paso de vapor en base a las condiciones del sistema de control.
- 5. Displays modo manual y modo automático: El display de la parte superior del grupo es el SET POINT de temperatura expresado en grados centígrados, en esta parte es donde el operador indica la temperatura a la que el sistema debe mantener la temperatura del líquido contenida en el tanque. El display de la parte inferior indica la apertura de la válvula de control y tiene respectivamente su botón de Down y Up para decrementar e incrementar la apertura de la misma.
- 6. Protección de nivel en el tanque: Este indicador enciende cuando el nivel del líquido que se encuentra en el tanque es menor o igual al 5% de su capacidad.

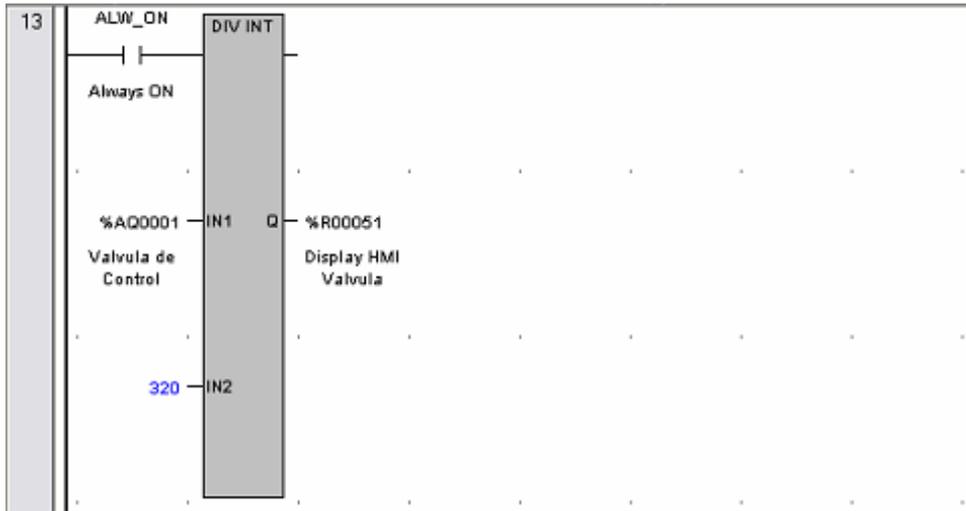


Figura 3.15: Display HMI.

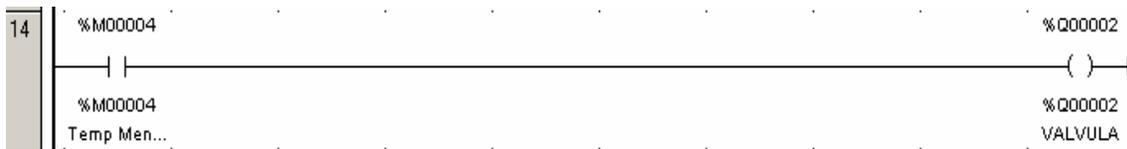


Figura 3.16: Activación de válvula.

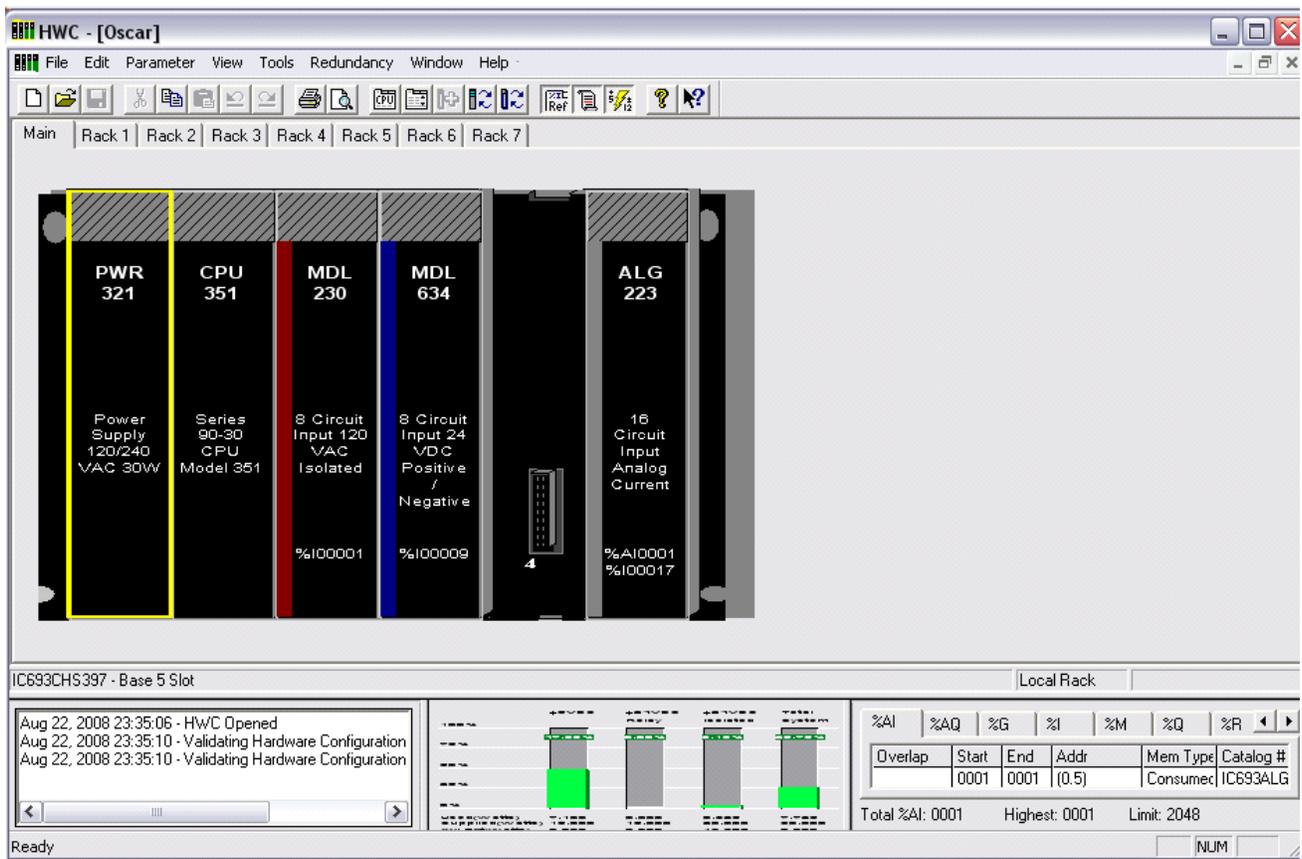


Figura 3.17: Representación gráfica de la configuración de la placa base del PLC de 5 ranuras.

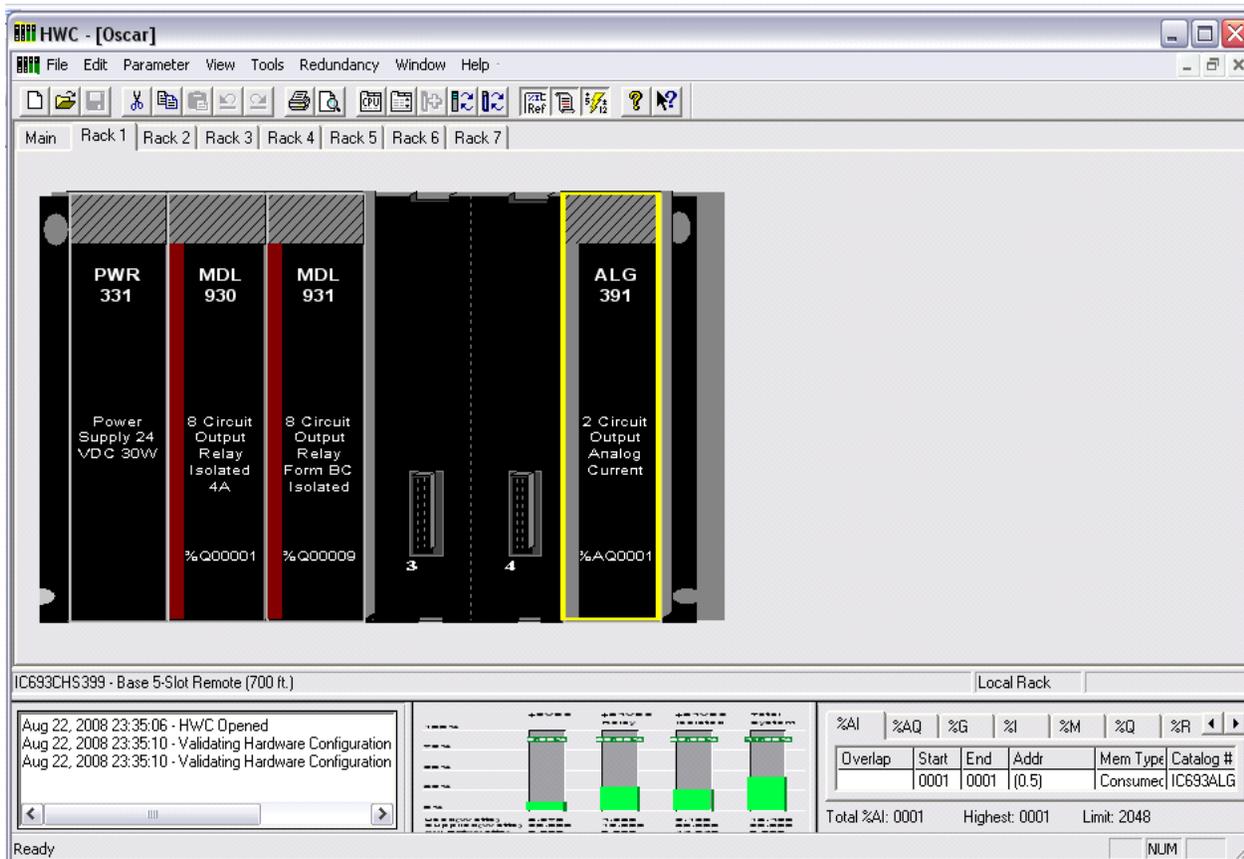


Figura 3.18: Representación gráfica de la configuración de la placa base remota del PLC de 5 ranuras.

Point ID	Address	Point Type	Description
BINICIO	%M12	BOOL	Boton de Arranque
BOMBA	%Q1	BOOL	Bomba Encendida
BPARO	%M11	BOOL	Paro HMI
CTRL_PRESION	%M200	BOOL	Panel de Control de Presion
CTRL_TEMP	%M201	BOOL	Panel de control Temperatura
CV_DISPLAY	%AQ1	INT	Posicion de Valvula
CV_VALV_TEMP	%R14	INT	Registro Up-Down para valvula de control
DOWN	%M8	BOOL	Disminuir en Modo Manual
MANUAL	%M6	BOOL	Modo Manual PID
NIVEL_BAJO	%M2	BOOL	Indicador de Nivel Bajo en el Tanque
PRESION	%AI2	INT	Sensor de Presion
PRESION_ELEVADA	%M3	BOOL	Indicador de Presion Elevada
READ_TEMP	%AI1	INT	Sensor de Temperatura
SENSORNIVEL	%AI3	INT	Sensor de Nivel en el Tanque
SETPPOINT	%R55	INT	Set Point de Temperatura
TEMPOK	%M9	BOOL	Temperatura establecida en el Set Point
UP	%M7	BOOL	Aumentar en Modo Manual
\$ALARM.ACKED		UDINT	Total alarms acknowledged
\$ALARM.ACTIVE		UDINT	Total active alarms
\$ALARM.TOTAL		UDINT	Total alarms
\$ALARM.UNACKED		UDINT	Total alarms unacknowledged
\$CLASS_HIGH.ALARMS		UDINT	Alarm count for HIGH class
\$CLASS_HIGH.UNACKED		UDINT	Unack alarm count for HIGH class
\$CLASS_HIGH.UNRESET		UDINT	Unreset alarm count for HIGH class
\$CLASS_LOW.ALARMS		UDINT	Alarm count for LOW class
\$CLASS_LOW.UNACKED		UDINT	Unack alarm count for LOW class
\$CLASS_LOW.UNRESET		UDINT	Unreset alarm count for LOW class
\$CLASS_MED.ALARMS		UDINT	Alarm count for MED class
\$CLASS_MED.UNACKED		UDINT	Unack alarm count for MED class
\$CLASS_MED.UNRESET		UDINT	Unreset alarm count for MED class
\$CLASS_SYS.ALARMS		UDINT	Alarm count for SYS class

Figura 3.19: Representación gráfica de los puntos declarados en Cimplicity Workbench.

DIRECCIÓN EN HMI	TIPO	NOMBRE
%AI1	ANALÓGICO	READ_TEMP
%AI2	ANALÓGICO	PRESIÓN
%AI3	ANALÓGICO	SENSOR NIVEL
%Q1	DIGITAL	BOMBA
%AQ1	ANALÓGICO	CV_DISPLAY
%M2	DIGITAL	NIVEL_BAJO
%M3	DIGITAL	PRESIÓN_ELEVADA
%M6	DIGITAL	MANUAL
%M7	DIGITAL	UP
%M8	DIGITAL	DOWN
%M9	DIGITAL	TEMP OK
%M11	DIGITAL	BPARO
%M12	DIGITAL	BINICIO
%M200	DIGITAL	CTRL_PRESIÓN
%M201	DIGITAL	CTRL_TEMP
%R14	DIGITAL	CV_VALV_TEMP
%R55	DIGITAL	SETPOINT

Cuadro 3.4: Puntos declarados de la HMI en Cimplicity Workbench

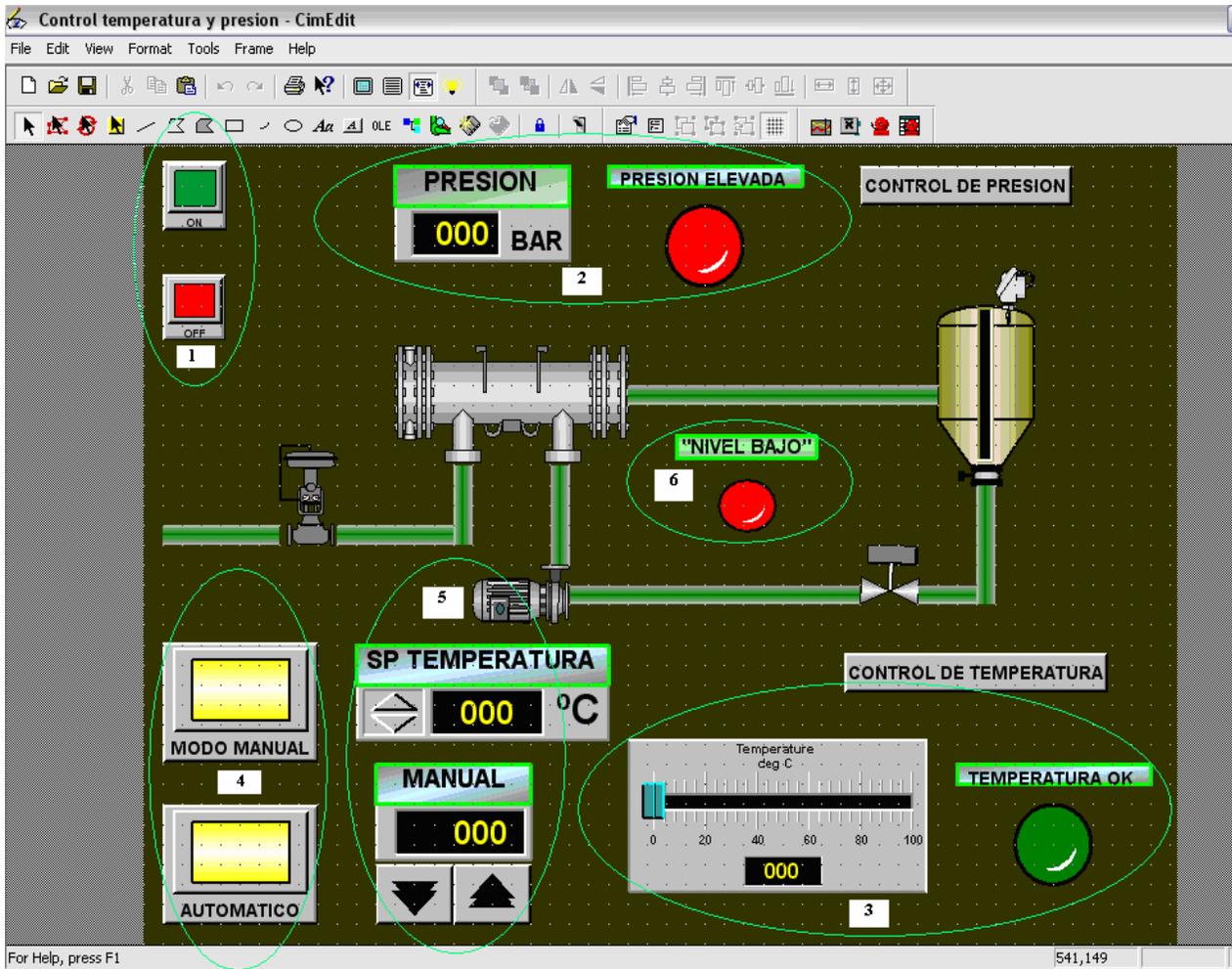


Figura 3.20: Pantalla del sistema de control de temperatura y presión en Cimplicity work-bench

Capítulo 4

Simulación del sistema de control del intercambiador de calor

4.1. Pruebas

Una vez desarrollado el programa en lenguaje escalera se procede a realizar las conexiones de la siguiente manera; el sensor de temperatura (PT 100) que se muestra en la Figura 4.1 se conecta en la ranura 5 en el RACK 0, módulo ALG 223, 16 Circuit, entradas analógicas de corriente, en la posición número 1.

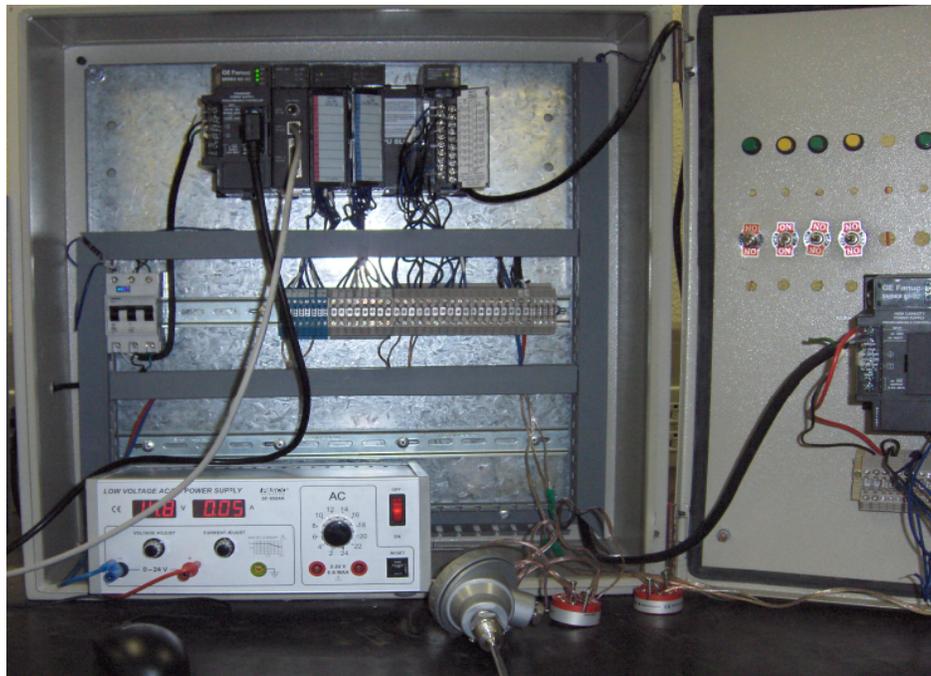


Figura 4.1: Sensor de temperatura Pt100

El sensor de presión de tipo fuelle que se muestra en la figura 4.2 se conecta en la ranura 5 en el rack 0: módulo ALG 223, 16 Entradas analógicas de corriente, en la posición número 2.



Figura 4.2: Sensor de presión tipo fuelle.

El sensor de nivel de tipo analógico que se muestra en la Figura 4.3 se conecta en la ranura 5 en el rack 0: módulo ALG 223, 16 entradas analógicas de corriente, en la posición número.3.



Figura 4.3: Sensor de nivel.

Las entradas digitales botón de inicio %I1 y botón de paro de emergencia %I2 se muestran en la figura 4.4.

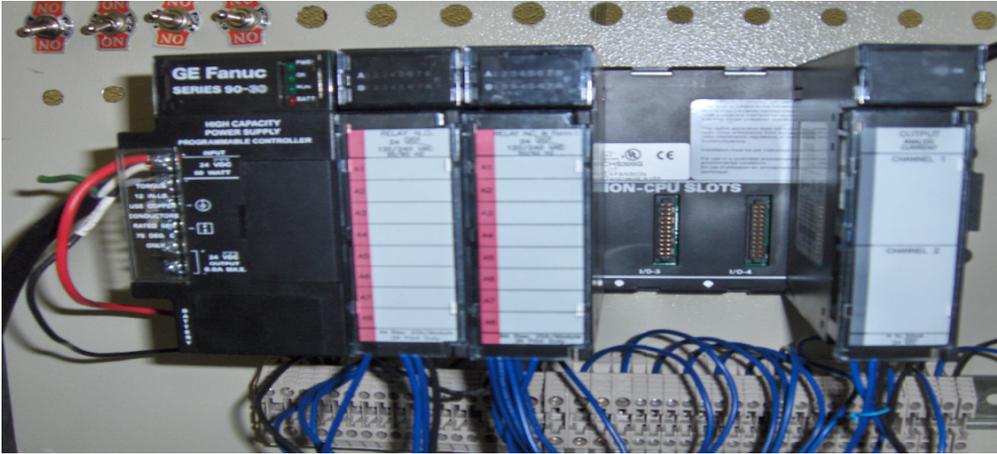


Figura 4.4: Entradas digitales, botón inicio y botón paro de emergencia del sistema de control.

Una vez realizadas las conexiones se arranca el sistema desde la HMI o a través del botón físico como se muestra en la figura 4.5.

Cuando la temperatura del líquido en el tanque sea la indicada en el punto de consigna se

Figura 4.5: Inicio del proceso del sistema de control del intercambiador de calor.

activa un temporizador que después de 15 minutos, activa el contacto %M0009 y se detiene el proceso como se muestra en la figura 4.6.

En la HMI la condición se manifiesta de la siguiente manera, aparece la indicación de temperatura ok y se detiene el proceso como se ilustra en la figura 4.7.

4.2. Modo manual del sistema de control del intercambiador de calor

La posición de la válvula de vapor trabaja de forma automática a través del PID o de forma manual, en la HMI se encuentra la opción, cuando se activa el botón de manual se despliega la pantalla de la figura 4.8, y es posible incrementar o decrementar la posición de la válvula.

4.3. Condiciones de paro del sistema

Si el nivel del tanque es menor a 5 % se activa el contacto %M00002 y se detiene el proceso como se muestra en la figura 4.9.

En la HMI la condición se manifiesta de la siguiente manera, aparece la indicación de nivel bajo se detiene el proceso y oculta el botón de arranque del sistema como se ilustra en la figura 4.10.

Si la presión es mayor o igual a 3 bar se activa el contacto %M0003 y se detiene el proceso como se muestra en la figura 4.11.

En la HMI la condición se manifiesta de la siguiente manera, aparece la indicación de presión elevada se detiene el proceso y oculta el botón de arranque del sistema como se ilustra en la figura 4.12.

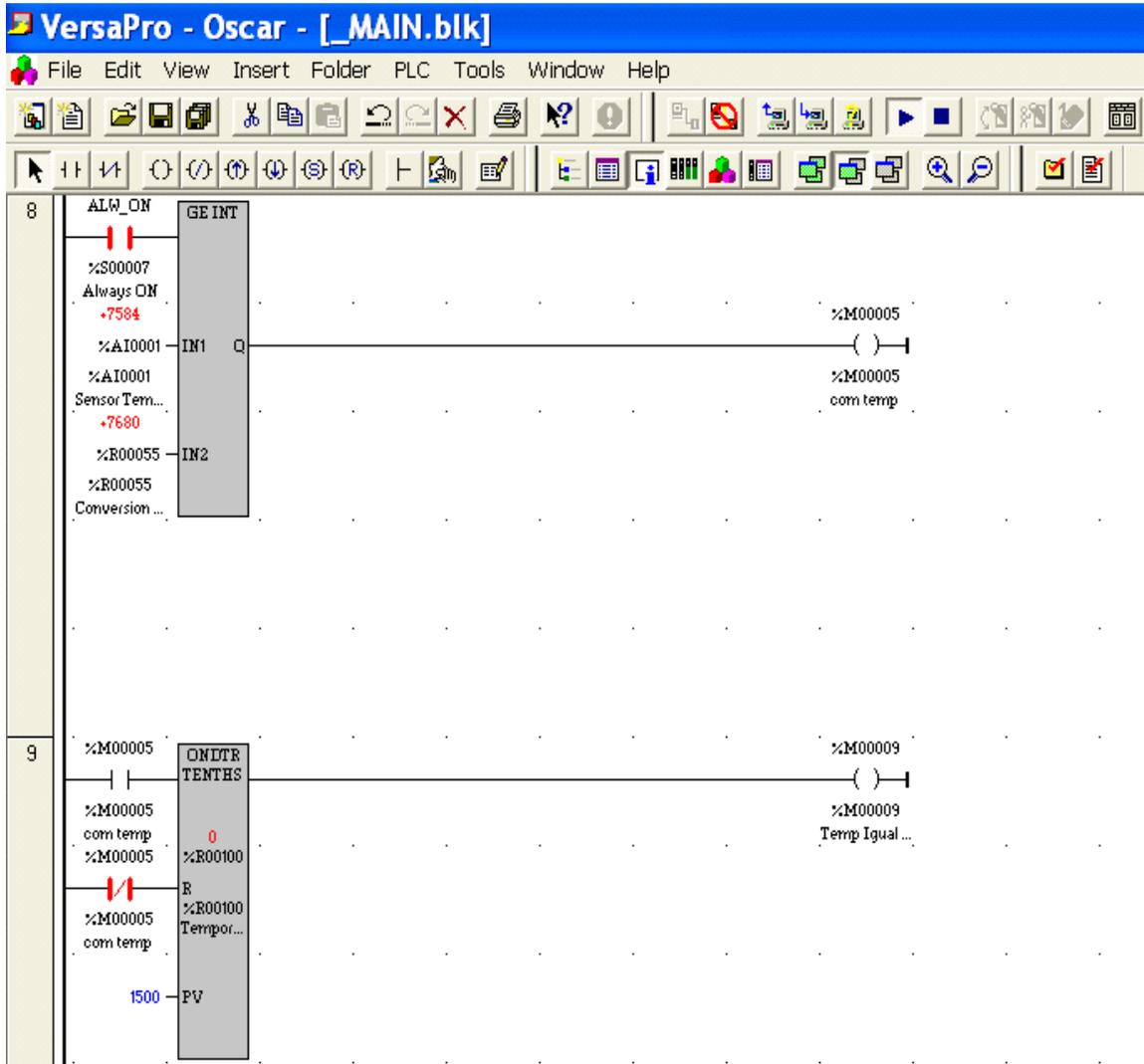


Figura 4.6: Temperatura igual al punto de consigna.

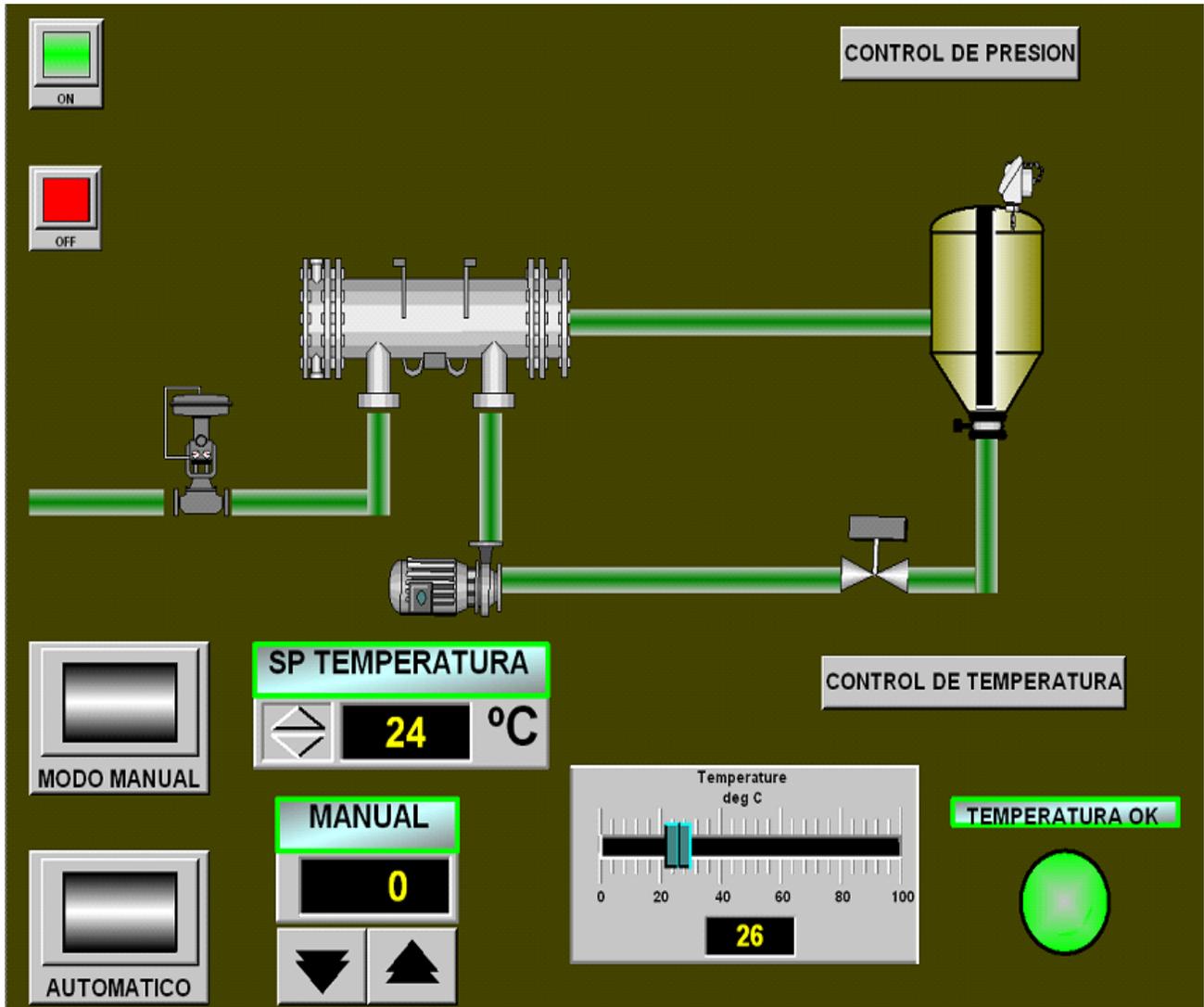


Figura 4.7: Temperatura ok HMI.

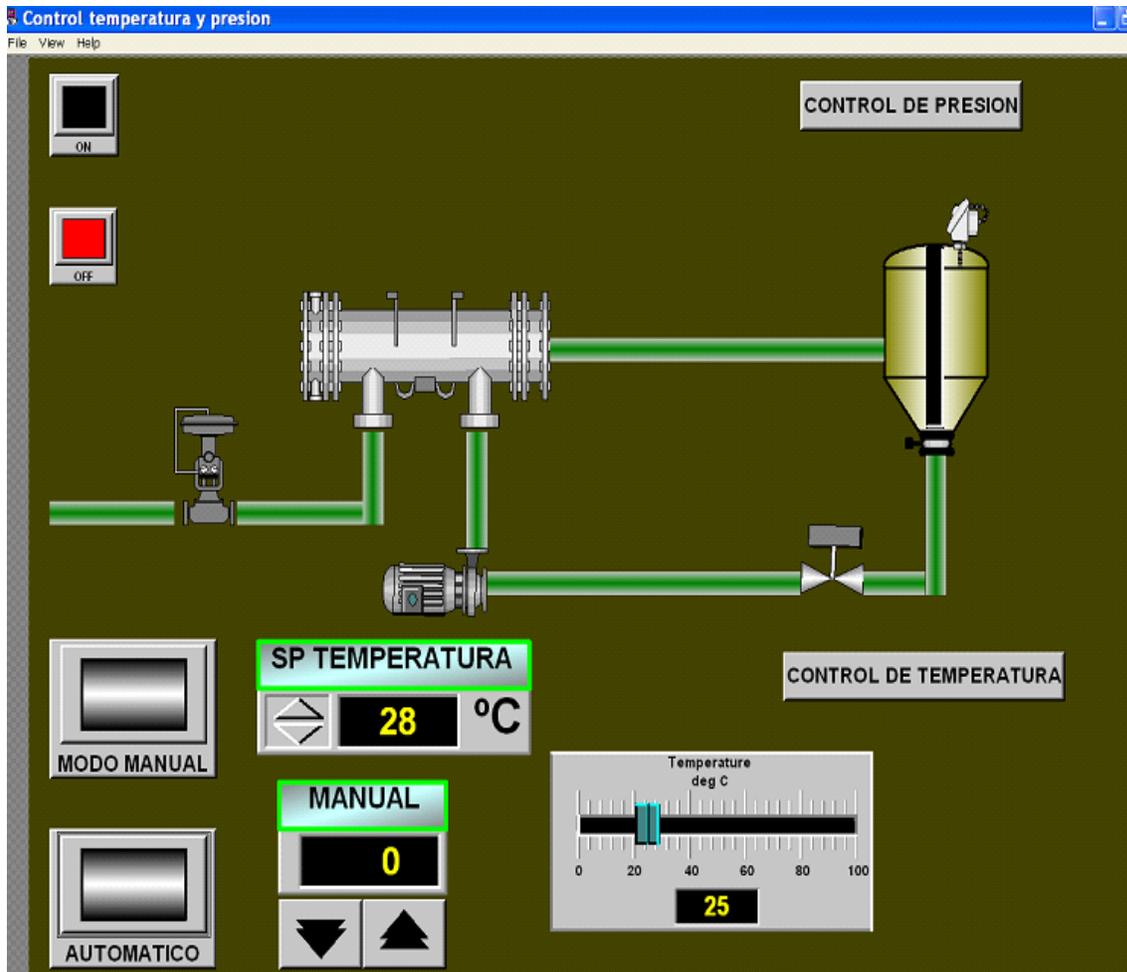


Figura 4.8: Modo manual del sistema de control.

Figura 4.9: Sensor de nivel activado.

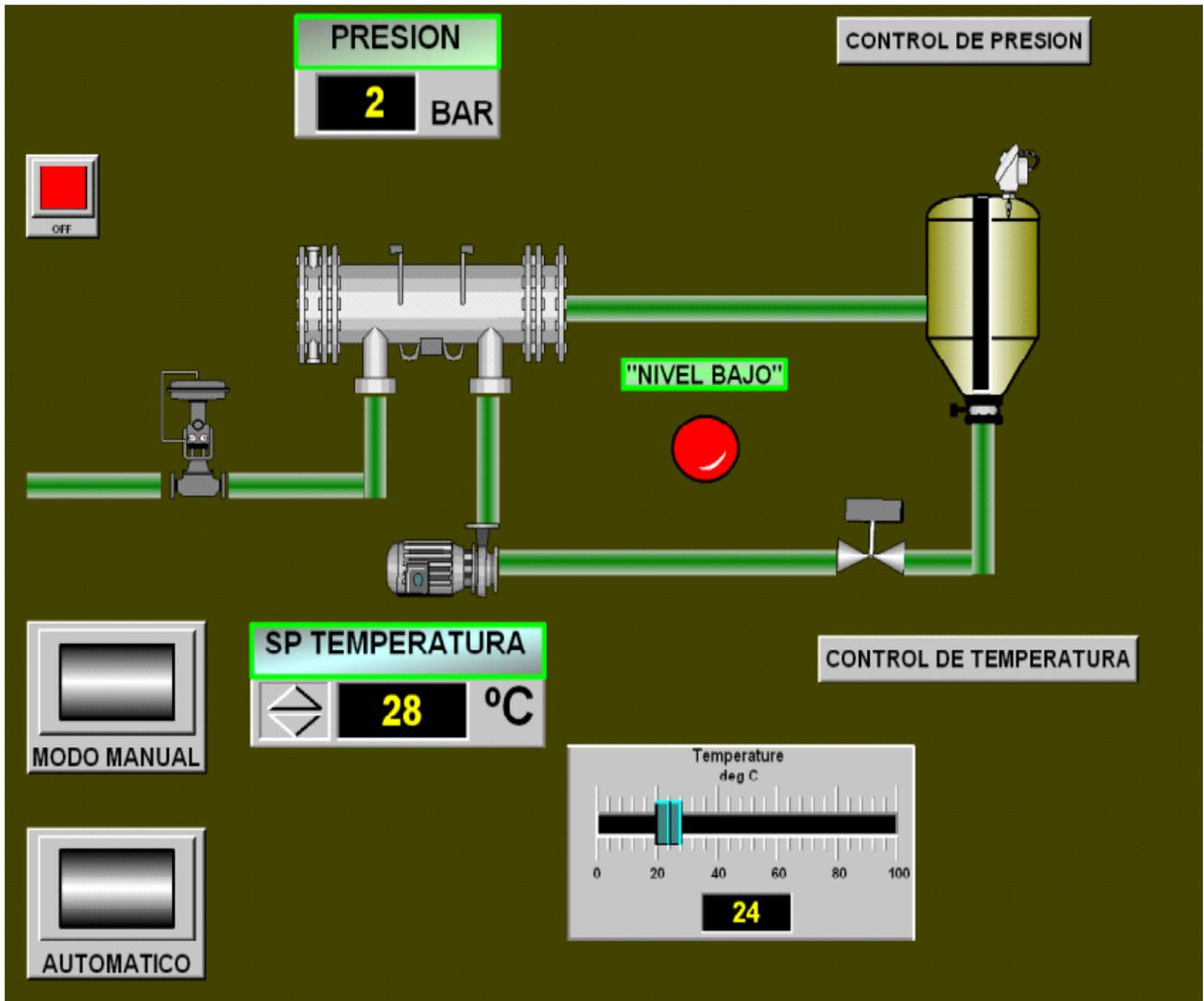


Figura 4.10: Nivel bajo HMI.

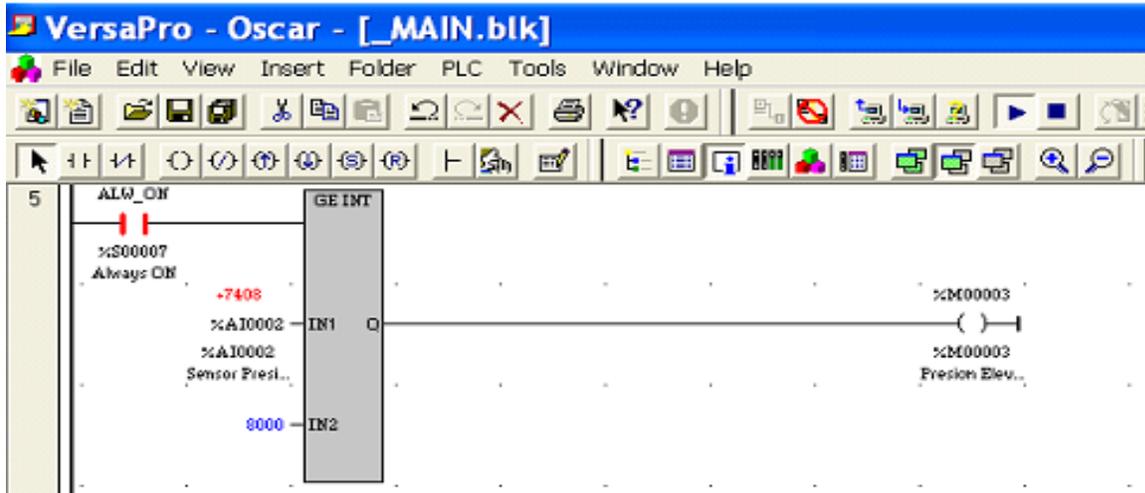


Figura 4.11: Presión elevada.

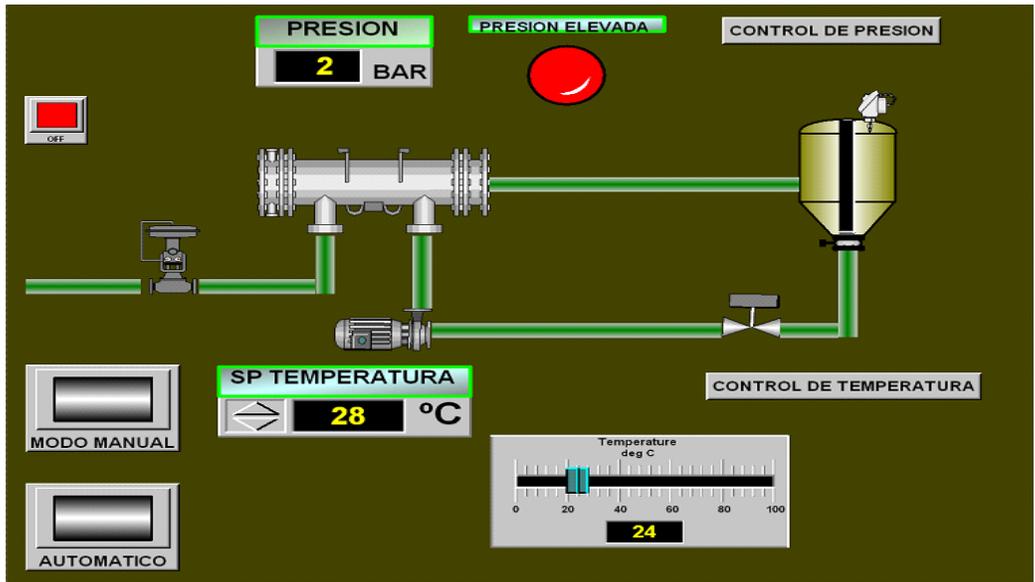


Figura 4.12: Presión elevada HMI

Conclusiones

Se realizaron las pruebas de funcionamiento al controlador de temperatura de forma automática y manual variando el punto de consigna, verificando el comportamiento del controlador.

Se verificó el funcionamiento del sensor de presión, probando que cuando el valor de la presión sea mayor o igual a 3 bar el proceso se detiene y el mensaje aparece en la HMI.

Se verificó el funcionamiento de la protección de nivel, es decir, que cuando el nivel es menor o igual al 5 % de capacidad del tanque se detiene el proceso por seguridad del sistema y se visualiza en la HMI.

Se verificó la correcta comunicación de la HMI con el PLC ingresando datos al sistema de control.

Trabajos a Futuro

En el caso del sensor de nivel, se podría utilizar un control a lazo cerrado de tal manera que el nivel del líquido en el tanque permanezca constante.

Para el caso del funcionamiento de la bomba esta se activa siempre que la temperatura sea menor al punto de consigna sin embargo se podría utilizar un variador de frecuencia para garantizar la vida útil de la bomba y utilizar un control a lazo cerrado dependiendo del nivel del tanque.

Glosario

Algoritmo: es una lista bien definida, ordenada y finita de operaciones que permite hallar la solución a un problema. Dado un estado inicial y una entrada, a través de pasos sucesivos y bien definidos se llega a un estado final, obteniendo una solución.

Bar: se denomina bar a una unidad de presión equivalente a un millón de barias, aproximadamente igual a una atmósfera (1 Atm). Su símbolo es "bar". Normalmente la presión atmosférica se da en milibares, siendo la presión estándar al nivel del mar igual a 1.013,2 milibares.

Bomba: es una máquina hidráulica generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica.

Hardware: corresponde a todas las partes físicas y tangibles de un PLC, sus componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.

Intercambiador de calor: es un dispositivo diseñado para transferir calor de un fluido a otro, sea que estos estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto.

Pasteurización: es el proceso térmico realizado a líquidos (generalmente alimentos) con el objeto de reducir los agentes patógenos que puedan contener, tales como bacterias, protozoos, mohos y levaduras, etc. El proceso de calentamiento recibe el nombre de su descubridor, el científico-químico francés Louis Pasteur (1822-1895). La primera pasteurización fue realizada el 20 de abril de 1882 por el mismo Pasteur y su colega Claude Bernard.

Serpentin: se denomina serpentín o serpentina a un tubo de forma frecuentemente espiral, utilizado comúnmente para enfriar vapores provenientes de la destilación en un calderín y así condensarlos en forma líquida. Suele ser de vidrio, cobre u otro material que conduzca el calor fácilmente. Los serpentines se usan desde la antigüedad en la destilación de bebidas alcohólicas, aunque en la actualidad cualquier proceso de refinado de crudos u obtención de un producto químico puede utilizar un serpentín, bien para enfriar, bien para calentar líquidos o gases.

Software: se refiere al equipamiento lógico o soporte lógico de un computador digital, comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios para hacer posible la realización de una tarea específica, en contraposición a los componentes físicos del sistema (hardware).

Temporizador: como su nombre lo dice son mecanismos que funcionan o hacen una operación por cierto tiempo donde el tiempo es ajustado de acuerdo del uso dado.

Vástago: es el eje que transmite la fuerza del accionamiento de un obturador para que este último se posicione y bloquee o permita el paso de un fluido o gas en una válvula

Apéndice

Pt 100 ohms										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-190	22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96
-180	27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20
-170	31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44
-160	35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66
-150	39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87
-140	43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06
-130	47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20
-120	52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32
-110	56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43
-100	60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52
-90	64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60
-80	68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64
-70	72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66
-60	76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67
-50	80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66
-40	84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65
-30	88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62
-20	92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58
-10	96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53
0	100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95
150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68
160	161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39
170	164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10
180	168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200	175.84	176.21	176.58	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.98	181.34	181.71	182.07	182.44	182.81
220	183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.45
230	186.82	187.18	187.55	187.91	188.27	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09
240	190.46	190.82	191.18	191.54	191.91	192.27	192.63	192.99	193.36	193.72
250	194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94
270	201.29	201.65	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53
280	204.88	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11
290	208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Figura 4.13: Apéndice A Tabla del Pt100

Bibliografía

- [1] Smith A. Carlos y Corripio B. Armando (1999) *Control automático de procesos, D.F.*, México:Limusa
- [2] Timothy J. Maloney (1999) *Electrónica industrial moderna, D.F.* México:Pearson education
- [3] Manual GFK-0898F-SP(2000) *Especificaciones del Módulo E/S, PLC Series 90-30, D.F.*, México
- [4] Manual GFK-0356Q-SP (2002) *Manual de Instalación y Hardware, PLC Series 90-30, D.F.* México
- [5] Ogata Katsuhiko (2002) *Ingeniería de Control Moderna, D.F.* México: Pearson education
- [6] Manual GFK-0467M-SP (2002). *Juego de Instrucciones de la CPU, D.F.*, México
- [7] Kuo C. Benjamin (2000). *Sistemas de control automático, D.F.*, México: Pearson Education
- [8] Distefano J. Joseph y Davidson Galera Hugo *Retroalimentación y sistemas de control*, McGraw-Hill
- [9] Fernández Silva Maria *Desarrollo de un controlador P.I.D. Industrial*, Vigo, España: E.T.S.I. Industriales
- [10] Sistemas de control en linea www.agapea.com/Teoria-de-control-Diseño-electrónico-n51656i.htm
- [11] PLC en linea [www.fio.unicen.edu.ar/usuario/ggacosta/TranspaSSCC/06capítulo\(PLC\).pdf](http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/ggacosta/TranspaSSCC/06capítulo(PLC).pdf)
- [12] Balcells Josep, Romeral José Luís. *Autómatas programables*, Editorial Marcombo, 2007.
- [13] Pallas Ramón Areny, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, Editorial Marcombo, 2003.
- [14] C. Rosaler Robert, O. Rice James, *Manual de Mantenimiento Industrial*, Mc Graw-Hill, 2004.

