



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y FLUJO DE AGUA PARA UN EQUIPO DE PRUEBAS A RADIADORES AUTOMOTRICES”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN.

PRESENTAN:

ISLAS ESTÉVEZ MONSERRATH

POZOS PANTOJA ERICK FAUSTO

ASESORES:

ING. LUIS ENRIQUE MURILLO YAÑEZ.

M. EN C. JUAN ABUGABER FRANCIS.



México D. F., Marzo 2009.

AGRADECIMIENTOS

GRACIAS A DIOS.

Por darme la oportunidad de vivir, por mi familia, por mis amigos y tan tas cosas que me has puesto en la camino para crecer y ser mejor persona, por guiarme y cuidarme en cada un de mis pasos y llenarme de bendiciones.

GRACIAS A MIS PADRE.

Por estar siempre a mi lado apoyándome en las buenas y en las malas, por sus consejos y sus palabras para poder afrontar cada situación en mi vida que me han hecho levantarme y seguir adelante, hay tanto que agradecerles que no hay hojas ni tinta para poder escribir cada una de mis palabras que siento por ustedes, los quiero mucho.

GRACIAS A MIS ABUELOS FABIAN Y SANTA.

Por todo el apoyo y todo el cariño que siempre me brindaron, por aguantarme y estar siempre pendientes de mi, por sus consejos que me enseñaron a ser cada día mejor.

GRACIAS A MI ABUELA FELIPA.

Por sus palabras de aliento y su apoya para salir siempre adelante, por su buen sentido del humor que me ayudo para ver la vida de otra forma, hay que sonreír.

GRACIAS A MI ABUELITA ROSITA.

Con todo cariño y admiración, un ejemplo de fortaleza, trabajo y ganas de vivir que siempre la caracterizó, por enseñarme que la unión de la familia es lo más importante, gracias donde quiera que esté.

GRACIAS A MIS HERMANOS ROSA Y ARMANDO.

Por su cariño y confianza; por ser mis amigos y mis confidentes, por hacerme reír cuando necesitaba un alivio y una sonrisa, los quiero mucho.

GRACIAS A MI COMPAÑERO ERICK.

Por toda su apoyo y su confianza en realizar este trabajo juntos, por su paciencia y sus consejos, gracias por compartir créditos.

GRACIAS A MIS ASESORES.

Agradezco al Ing. Luis Enrique Murillo Yañez y M. en C. Juan Abugaber Francis, por su apoyo, tiempo y colaboración en la realización de está tesis

Monserrath Islas Estévez
Ingeniería en Control y Automatización.
Generación 2003-2007.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis esta dedicada a mis Padres, a quienes agradezco de todo corazón por su amor, cariño y comprensión. En todo momento los llevo conmigo.

A mi hermano por la compañía y el apoyo que me brinda.

A Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones, por tener la oportunidad de ser mejor cada día.

Agradezco a mis asesores. Al Ing. Luis Enrique Murillo Yañez y al M. en C. Juan Abugaber Francis por su valiosa asesoría, apoyo incondicional y por su valioso tiempo dedicado a este trabajo de tesis.

También al Dr. Ignacio Carvajal y al M. en C. Guilibaldo Tolentino por su disposición y ayuda brindada.

A mi alma Mater el Instituto Politécnico Nacional por ser parte importante durante mi formación humana y profesional.

Un agradecimiento y dedicatoria en especial a la Sra. Santa Galicia Alonso y al Sr. Fabián Estévez Velazquez por su confianza y apoyo para la realización y culminación de este trabajo.

A mi compañera Monserrath por compartir y realizar este trabajo juntos, por su paciencia y sus consejos, gracias.

Erick Fausto Pozos Pantoja
Ingeniería en Control y Automatización.
Generación 2003-2007

ÍNDICE GENERAL

	PAG.
ÍNDICE DE FIGURAS.	vi
ÍNDICE DE TABLAS.	vii
NOMENCLATURA.	ix
GLOSARIO.	x
RESUMEN.	1
INTRODUCCIÓN.	2
1. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN PARA BANCO DE PRUEBAS PARA RADIADORES AUTIMOTRICES.	5
1.1. Descripción general del radiador automotriz.	5
1.1.1. Definición de un radiador automotriz.	5
1.1.2. Funcionamiento de los radiadores automotriz.	5
1.1.3. Tipos de radiadores.	8
1.2. Descripción general de la instalación.	11
1.2.1. Sistema eléctrico de potencia y control.	12
1.2.2. Circuito hidráulico y neumático.	14
1.3. Instrumentación actual.	18
2. SISTEMA DE CONTROL.	20
2.1. Descripción de los controles automático.	20
2.2. El sistema de Control.	20
2.2.1. Sistemas de Control en Lazo Abierto.	21
2.2.2. Sistemas de Control Realimentado.	22
2.2.3. Sistemas de Control en Lazo Cerrado.	22
2.2.4. Definiciones.	23
2.3. El control ON/OFF.	25
2.4. Control Proporcional.	26
2.4.1. Error Estacionario.	27
2.5. Control Proporcional Derivativo PD.	28
2.6. Control Proporcional Integral PI.	28
2.6.1. Ajuste Manual.	28
2.6.2. Control Proporcional Integral PI.	29
2.7. Control Proporcional Integral Derivativo PID.	30
2.8. Sintonización de un PID.	32
2.8.1. Método de las Oscilaciones de Lazo Cerrado.	33
2.8.2. Método de la Respuesta Escalón.	36
2.9. PMW y Tiempo de Ciclo.	37
2.9.1. Tiempo de Ciclo.	38
3. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SU INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA.	40
3.1. Descripción general del Proceso.	41
3.2. Instrumentación Propuesta.	45
3.2.1. Elementos de Medición y Transmisión.	47

3.2.2. Nivel.....	48
3.2.3. Temperatura.....	49
3.2.4. Flujo.....	50
3.2.5. Presión.....	51
3.2.6. Elementos finales de control.....	52
3.2.6.1. Válvula Reguladora de Flujo (FVC-001).....	53
3.2.6.2. Válvula solenoide (LV-001, LV-002 y LV-003).....	54
3.2.6.3. Relevadores de Estado Solido (SSR).....	54
3.3. Lazos de Control.....	56
3.3.1. Control de Nivel en la Caldera.....	56
3.3.2. Control de Temperatura de la Caldera.....	57
3.3.3. Control de Flujo del Líquido Refrigerante.....	60
3.3.4. Encendido de Bombas Centrífugas (M2 y M3).....	61
3.3.5. Control de Velocidad del Ventilador Centrífugo.....	62
3.3.6. Adquisición de Datos.....	63
3.4. Selección de Equipo de Control.....	64
3.4.1. Lista de Entradas y Salidas.....	66
3.4.2. RED del Sistema de Control.....	69
3.4.3. Comunicación Serial RS-232.....	69
3.4.4. Dispositivo de Interface (Panel View).....	70
3.5. Desarrollo de Interface.....	71
3.5.1. Pantalla principal.....	72
3.5.2. Pantalla para Control de Nivel.....	73
3.5.3. Pantalla para Control de Temperatura.....	75
3.5.4. Pantalla para Control de Flujo.....	76
3.5.5. Pantalla para Control de Velocidad del ventilador.....	78
3.5.6. Pantalla de Adquisición de Datos.....	79
4. COSTO DEL PROYECTO.....	80
CONCLUSIONES.....	85
BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS.....	87
A. Especificaciones de la Instrumentación y el Equipo de Control.....	87
B. Programación en RsLogix 500.....	96
C. Tablero de Control.....	105
D. Diagramas Eléctricos.....	108
E. Principio de Operación de la Instrumentación Propuesta.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

	PAG.
1.1. Temperatura común de combustión y descarga.....	6
1.2. Núcleo de Tubos y Aletas.....	8
1.3. Núcleo Celular.....	9
1.4. Típico núcleo de Tubos y aletas en Serpentin.....	9
1.5. Radiador de Automóvil (flujo descendente).....	10
1.6. Radiador de Automóvil (flujo cruzado).....	10
1.7. Banco de pruebas térmicas para radiadores automotrices.....	11
1.8. Motor Eléctrico y ventilador acoplados.....	12
1.9. Ventilador y banco de resistencia.....	13
1.10. Banco de resistencia para calentamiento del agua.....	14
1.11. Tablero de control.....	14
1.12 ^a . Equipo de bombeo de agua.....	15
1.12 ^b . Circuito hidráulico y caldera eléctrica.....	15
1.13. Rotamiento en la entrada del radiador y Válvulas de globo.....	16
1.14 ^a . Tubos Venturi para el suministro de aire.....	17
1.14 ^b . Circuito Neumático.....	17
1.15. Manómetro Bourdon y sensor de temperatura.....	18
1.16. Medidor digital de la temperatura del aire.....	19
1.17. Banco de Válvulas de globo accionadas manualmente.....	19
2.1. Diagrama funcional de bloques para un Sistema de control de lazo abierto.....	21
2.2. Diagrama de un Sistema de control en lazo cerrado.....	23
2.3. Control ON-OFF.....	25
2.4. Tipos de comportamiento del PID.....	32
2.5. Oscilaciones de lazo cerrado.....	35
2.6. Respuesta al escalón.....	36
2.7. Salida Modulo PWM.....	39
3.1. Diagrama experimental para pruebas térmicas a radiadores.....	42
3.2. Circuito del Fluido de Servicio.....	43
3.3. Circuito del Fluido de Proceso.....	44
3.4. Diagrama de Tubería e Instrumentación.....	46
3.5. Diagrama a bloques de un elemento de medición.....	47
3.6. Instalación del transmisor de nivel en la Caldera.....	48
3.7. Instalación de transmisor de temperatura en la Caldera.....	49
3.8. Instalación del transmisor indicador de presión en la tubería.....	50
3.9. Transmisor de flujo Deltabar.....	51
3.10. Instalación del transmisor indicador de presión en la tubería.....	51
3.11. Diagrama de un Lazo de Control.....	52
3.12. Válvula reguladora de flujo.....	53

3.13. Válvula de solenoide típica de acción directa, normalmente cerrada de dos vías.....	54
3.14. Diagrama eléctrico del relevador de estado sólido.....	55
3.15. Relevador de estado sólido.....	55
3.16. Lazo de Control de Nivel de la Caldera.....	57
3.17. Lazo de Control de Temperatura de la Caldera.....	58
3.18. Lazo de Control de Flujo del Líquido Refrigerante.....	61
3.19. Lazo de Control de Velocidad del Ventilador Centrifuga.....	63
3.20. Lazo de Control para la Adquición de Datos.....	64
3.21. Controlador lógico programable MicroLogix 1500.....	65
3.22. Configuración del PLC.....	67
3.23. Diagrama de la red del sistema de control.....	69
3.24. Dispositivo de Interface Gráficas (PanelView).....	71
3.25. Pantalla Principal del equipo de Pruebas a radiadores.....	72
3.26. Pantalla para control de nivel.....	74
3.27. Pantalla para ajuste del Lazo de Temperatura.....	75
3.28. Pantalla para Control de Flujo.....	77
3.29. Pantalla para el ajuste de velocidad.....	78
3.30. Pantalla de Adquición de Datos.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

	PAG.
2.1. Fórmulas de Sintonización de Zigler y Nichols.....	33
3.1. Instrumentación actual y propuesta.....	45
3.2. Parametros de configuración del PID.....	59
3.3. Parametros de configuración del PWM.....	59
3.4. Controladores de la familia MicroLogix.....	66
3.5. Entradas y salidas al controlador.....	67
3.6. Modulo de entradas analógicas.....	68
3.7. Modulo de salidas analógicas.....	68
3.8. Modulo de salidas digitales.....	68
4.1. Cotización del equipo de control.....	81
4.2. Cotización de los elementos primarios de medición.....	82
4.3. Cotización de los elementos finales de control.....	82
4.4. Cotización del software de programación.....	82
4.5. Cotización del material.....	83
4.6. Cotización de hrs-hombre.....	83
4.7. Costo total del proyecto.....	84

NOMENCLATURA

		UNIDADES
Δp	Presión Diferencial.	psi.
Δw	Pérdida de Presión.	psi.
B	Razon de Diámetro.	m
DK	Constante Dieléctrica.	F/m
Pb	Banda proporcional.	%
PV	Variable del Proceso.	
PVm	Variable de Proceso medida.	
Q	Relación de Caudal.	m ³ /s
RTC	Capacidad en tiempo Real.	F/s
T	Periodo de Oscilaciones.	s.
T	Tiempo.	s.
tc	Tiempo de Ciclo.	s.
tm	Tiempo de subida.	s.
tu	Tiempo de retard.	s.

GLOSARIO

ASCII: Código estadounidense estándar para el intercambiador de información (American Estándar Code for Information Interchange), es un código de carácter basado en el alfabeto latino tal como se usa en inglés moderno y en otras lenguas occidentales.

Bus Serial: Conductor Universal en Serie, abreviado comumente como USB, es un puerto que sirve para conectar a una computadora. El estándar incluye la transmisión de energía eléctrica al dispositivo conectado.

Display: Se llama visualizar, a un dispositivo de ciertos aparatos electrónicos que permite mostrar información al usuario.

Hardware: Corresponde a todas las partes físicas y tangibles de una computadora, sus componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos. Se define como el “Conjunto de los componentes que integran las partes materiales de la computadora”.

IEEE 488: Es un estándar bus de datos digitales de corto rango desarrollado por Hewlett-Packard en los años 1970 para conectar dispositivos de testeo de medida con dispositivos que controlen como un ordenador.

Actuador: Se denominan a aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado. Son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa.

CPU: Unidad central de procesamiento (Central Processing Unit), es el procesador en una computadora digital que interpreta las instrucciones y procesa los datos contenidos en los programas de la computadora.

Efecto Termoeléctrico: Es un material relaciona el flujo de calor que lo recorre con corriente eléctrica que lo atraviesa. Este efecto es la base de las aplicaciones de refrigeración y de generación de electricidad, una materia termoeléctrico permite transformar directamente el calor en electricidad, o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica.

HMI: Una interfaz Hombre-Máquina (Human Machine Interface) es el aparato que representa los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso. Se pueden ver como ventanas de proceso, las cuales son dispositivos especiales como paneles de operador o en un ordenador.

J (Termopar tipo): Hierro/Constantán, son ideales para usar en viejos equipos que no aceptan el uso de termopares más modernos. Tiene un rango de -40°C a 750°C ; es afectado por la corrosión.

Periféricos: Se denomina a los aparatos o dispositivos auxiliares e independientes conectados al CPU.

Placa de Orificio: Consiste en una placa perforada que se instala en la tubería, el orificio que posee es un abertura cilíndrica o prismática a través de la cual fluye el fluido. El caudal se puede determinar por medio de las lecturas de presión diferencial.

Protocolo: Se conoce a un conjunto de reglas que especifican el intercambio de datos u órdenes durante la comunicación entre sistemas, que manejan lenguajes distintos.

Protocolo 4-20 mA + Hart: Permite la comunicación digital bi-direccional con instrumentos inteligentes sin perturbar la señal analógica de 4-20mA. Ambas señales, la analógica 4-20 mA y las señales de comunicación digital HART pueden ser transmitidas simultáneamente sobre el mismo cable.

PTO: Salida de Tren de Pulsos, esta instrucción se usa para proporcionar una serie de pulsos a un dispositivo de salida.

PID: Proporcional Integral Derivativo es un mecanismo de control por realimentado que se utiliza en sistemas de control industrial. Este corrige el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener calculándolo y luego sacando una acción correctora que puede ajustar al proceso acorde.

PLC: Controlador Lógico Programable (Power Line Comumunications), es un término en ingles que se puede traducirse por comunicaciones mediante cable eléctrico y que se refiere a diferentes tecnologías que utilizan las líneas de energía eléctrica para convertir en una línea digital de alta velocidad de transmisión de datos.

Protocolo Fieldbus: Es un protocolo de comunicaciones digitales de alta velocidad que esta creada para reemplazar la clásica señal 4-20 mA que aún se utiliza en mucho de los sistemas de control distribuido y controladores lógicos programables, instrumentos de medida y transmisión y válvulas de control.

Protocolo Profibus: Es un bus de campo normalizado internacionalmente que fue estandarizado bajo la norma EN 50 170. Define las características técnicas y funcionales de un bus de campo el cual interconecta dispositivos digitales de campo distribuidos en los rangos de desempeño de bajo (nivel de sensores y actuadores) hasta el nivel medio (nivel de celda).

PWM: Modulación por ancho de pulsos (pulse-width modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (sinusoidal o cuadrada) ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o control de la cantidad de energía que se envía a una carga.

RS-232: Estándar ANSI/EIA-232, es el conector serial hallado en las PCs IBM y compatibles. Es utilizado para una gran variedad de propósitos, como conectar un ratón, impresora o módem, así como instrumentación industrial.

RTD: Son sensores de temperatura resistivos. En ellos se aprovecha el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones para que, ante un aumento de temperatura, hay un aumento de la resistencia eléctrica que representa.

T (Termopar tipo): Cobre/Constantán, tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras. Se prefiere generalmente para las medidas de temperatura entre -200 a 260°C.

Termopozo: Es un dispositivo de protección de los elementos primarios de medición de temperatura que evita que estos se dañen por la acción de fluidos corrosivos, altas velocidades y presiones.

Tubo Venturi: (También conocido por efecto Venturi) consiste en que la corriente de un fluido dentro de un conductor cerrado disminuye la presión del fluido dentro de un conductor cerrado disminuye la presión del fluido al aumentar la velocidad cuando pasa por una zona de sección menor.

RS-485: Esta definido como un sistema de bus de transmisión multipuntos diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias y a través de canales ruidosos, ya que reduce los ruidos que aparecen en los voltajes producidos en la línea de transmisión.

SSR: Relevador de estado sólido (Solid State Relay) es un circuito electrónico que contiene en su interior un circuito disparado por nivel, acoplado a un interruptor semiconductor, un transistor o un triac.

Termopar (T): es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

Transmisor: Es un equipo que emite una señal, código o mensaje a través de un medio y suele tener un protocolo industrial.

RESUMEN

En este trabajo se desarrolló la propuesta de actualización de la instrumentación que contempla a los elementos primarios de medición y los elementos finales de control; el desarrollo de un sistema de control para la temperatura y el flujo del líquido refrigerante en la instalación experimental para llevar a cabo las pruebas térmicas a radiadores automotrices, en las instalaciones del LABINTHAP.

En base a las condiciones de operación de temperatura, presión y flujo del líquido refrigerante principalmente, se realizó la selección de los nuevos elementos de medición, válvulas y del equipo de control necesario para realizar las pruebas experimentales en la instalación.

Para la propuesta también se contemplaron el desarrollo de los lazos de control, la programación y especificación del PLC (Controlador Lógico Programable) que ejecutará la lógica de control a partir de la metodología empleada en las pruebas; además de proponer las pantallas de visualización para cada lazo en una interface hombre-maquina utilizando un Panel View para monitorear las variables de temperatura, presión, flujo y nivel; así como para supervisar el funcionamiento de la instalación experimental y contar con un sistema de adquisición de datos confiables.

Con esta propuesta se pretende tener un control más preciso para las variables temperatura y flujo principalmente, además la automatización de esta instalación llevaría a contar con mejores condiciones de operación y un desarrollo de pruebas en menor tiempo.

INTRODUCCIÓN.

El objetivo de este proyecto de investigación es proponer un sistema de control de temperatura y flujo de agua (líquido refrigerante) con los instrumentos adecuados, que sean confiables y seguros para desarrollar las pruebas térmicas a radiadores automotrices. Además de contemplar los siguientes puntos, el cual complementa el objetivo general:

- Proponer los nuevos instrumentos de medición así como los elementos finales de control.
- Proponer los lazos de control: temperatura, nivel y flujo para el líquido refrigerante, además de establecer un sistema de adquisición de datos en la instalación.
- Proponer una interface (HMI) para el control de proceso correspondiente en la instalación por parte del usuario.
- Proponer un Controlador Lógico Programable (PLC) para el desarrollo de las tareas de control (lógica de control) en la instalación de pruebas.

El desarrollo de la propuesta se realizó en las instalaciones de la SEPI-ESIME que es la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional. Ésta sección cuenta con un Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP). Una de las líneas de investigación es la referente a la transferencia de calor, en la cual existe una instalación donde se realizan las pruebas para análisis térmico a intercambiadores de calor compactos (radiadores automotrices).

La instalación cuenta con un circuito hidráulico que consta de un tanque de almacenamiento, una caldera, bombas, un motoventilador centrífugo y una red de tuberías de distribución que llegan hasta el radiador; el cual produce el aire que llega hasta zona de pruebas donde se encuentra el radiador en observación.

La instalación y el equipo no cuentan con un sistema de control automático de temperatura y flujo del líquido refrigerante, por lo que la forma de operación es manual. Además, la instrumentación y los elementos finales de control con los que se cuentan ya son obsoletos.

Como consecuencia de este problema la posibilidad de realizar las pruebas de forma adecuada a distintos radiadores se ha vuelto difícil puesto que los valores de medición de temperatura y flujo cuentan con una exactitud y precisión poco confiable, afectando los resultados para el análisis térmico del funcionamiento del radiador; por lo cual el desarrollo de este tipo de pruebas lleva demasiado tiempo y en muchas ocasiones llegan a ser imprecisas y con resultados poco congruentes.

Por lo que la justificación de este trabajo es proponer un sistema de control con el que se lograría realizar pruebas en diferentes rangos de flujo, a la temperatura adecuada, a la entrada y salida del radiador, reflejándose en un tiempo de realización mucho más corto, así como un aprovechamiento eficiente tanto de la energía eléctrica como del equipo para poder realizar dichas pruebas.

Para el desarrollo de este trabajo, la tesis está integrada por los capítulos siguientes:

El capítulo 1 Descripción de la Instalación para Banco de Pruebas para Radiadores Automotrices. Se presenta en éste capítulo la descripción de la instalación experimental que se emplea para realizar pruebas térmicas a radiadores automotrices.

El capítulo 2 Sistemas de Control. En éste se aplica el concepto de Sistemas de control, componentes del sistema, tipos y los métodos de control como son el PID y el PWM (Pulse-Width), así como la metodología para su sintonización.

El capítulo 3 Desarrollo de un Sistema de Control y su Interface Hombre-Maquina. Se presenta la propuesta de la instrumentación, elementos finales de control y del equipo de control para la instalación, el desarrollo de la lógica de control así como el desarrollo de las pantallas de control.

En el capítulo 4 Costo del proyecto. Este capítulo presenta el costo total del proyecto, donde se desglosan los costos por equipo, material, mano de obra y desarrollo de ingeniería.

Por último se dan las conclusiones del trabajo y las referencias.

CAPÍTULO	1
DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN PARA BANCO DE PRUEBAS PARA RADIADORES AUTOMOTRICES	

En este capítulo se presenta la descripción de los elementos físicos de la instalación experimental que se emplea para realizar pruebas térmicas a radiadores automotrices.

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RADIADOR AUTOMOTRIZ

1.1.1. Definición de un Radiador Automotriz.

Un radiador es un intercambiador de calor compacto, que aporta calor a otro objeto, o bien, a un lugar, sin contar con la presencia de llamas. En el ámbito de los automóviles con motores de combustión interna, el radiador se conecta a canales desde el motor y a la cabeza de cilindros, desde donde se bombea un líquido, típicamente una mezcla de agua con un anti-congelante. La idea es que éste fluido circule por el motor, disipando el calor y llevándolo hacia el radiador, que a su vez disipa el calor usando el aire que entra por la toma delantera del vehículo; todo esto enfría el motor, lo cual es su fin.

1.1.2. Funcionamiento de los Radiadores Automotrices.

El funcionamiento de un radiador se basa en la diferencia de temperatura entre su superficie y el ambiente en el que se encuentra, pero además tiene gran influencia la cantidad de superficie expuesta del radiador en dicho ambiente. Lo anterior se explica ya que, al haber una superficie mayor de intercambio y mayor es la diferencia de temperatura, entonces, mayor será el intercambio de calor.

El radiador se encuentra ubicado en el frente del vehículo, tiene la función de enfriar el agua que circula en su interior, lleva dos mangueras, una superior que recibe el agua caliente proveniente del motor y otra inferior que hace circular el agua en su interior para enfriarla.

Así la finalidad del sistema de enfriamiento es mantener el motor a su temperatura de funcionamiento más eficiente a todas las velocidades y en todas las condiciones de operación. La figura 1.1 muestra estas temperaturas.

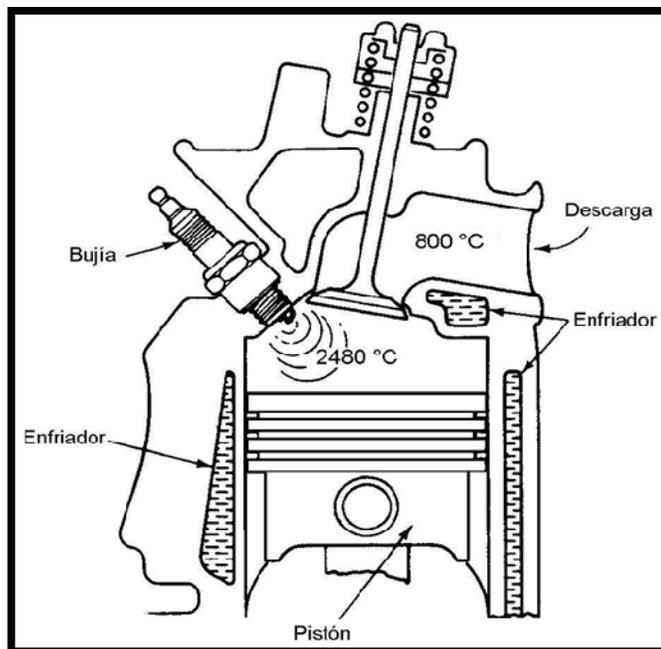


Figura 1.1. Temperaturas comunes de combustión y descarga.¹

De todo el calor generado, alrededor del 25% se utiliza para efectuar el trabajo útil, 31% se disipa con los gases de escape y el 33% se absorbe en el sistema de enfriamiento. El resto del calor se utiliza para vencer la fricción del motor.

¹ ABUGABER FRANCIS, Juan, *Desarrollo y validación de una Metodología para caracterizar Termicamente Radiadores Automotrices*, p. 42.

Estos porcentajes son solo aproximados y pueden variar en tipos particulares de motores, pero muestran la necesidad de un eficiente sistema de enfriamiento. También permiten apreciar el trabajo que debe ejecutar el sistema de enfriamiento, cuando se tiene en cuenta que alrededor de una tercera parte de la energía térmica del combustible que entra al motor, sale por el sistema de enfriamiento.

Parte del calor de las cámaras de combustión lo absorben las paredes de los cilindros, culatas de los cilindros y pistones; estos a su vez deben de ser enfriados por algún medio a fin de que las temperaturas no se vuelvan excesivas.

La temperatura en la pared de los cilindros no debe de subir por arriba de los 300 °C. Las temperaturas más altas hacen que se desintegre la película de aceite y pierda sus propiedades lubricantes; sin embargo, es deseable que el motor funcione a una temperatura lo más cercana, hasta donde sea posible, a los límites impuestos por las propiedades del aceite.

Si se disipa demasiado calor a través de las paredes y de la culata de los cilindros, se reduciría la eficiencia térmica del motor. Dado que el motor es muy poco eficiente cuando está frío, el sistema de enfriamiento incluye componentes que evitan el enfriamiento normal durante el período de calentamiento.

Estos componentes permiten que las piezas del motor alcancen con rapidez su temperatura de funcionamiento y reducen el ineficiente período de funcionamiento en frío. Por tanto, el sistema de enfriamiento hace bajar la temperatura con rapidez cuando el motor está caliente y solo permite enfriamiento lento o no lo permite durante el período de calentamiento y cuando el motor está frío.

1.1.3. Tipos de Radiadores.

Los radiadores pueden tener diversas formas, aunque las más usuales son:

- Del tipo de tubos y aletas centrales; en este tipo se emplean tubos verticales para el líquido, con aletas en forma de tiras sujetas en cada lado de los tubos.
- Aletas y tubos, aquí las aletas son horizontales; este tipo de núcleo tiene mayor superficie de aletas y por tanto más capacidad de enfriamiento.

Los tubos de aleta tienen un cuerpo central formado por una serie de tubos de lámina de latón de 0.1 a 0.3 mm (0.0045 a 0.012 pulg) de espesor, que conectan el depósito superior con el inferior. Estos tanques de radiador que cierran totalmente los extremos del núcleo están hechos de lámina de latón de 0.5 a 1.25 mm (0.020 a 0.050 pulg) de espesor. Los tubos atraviesan unas placas finas de cobre o latón que hacen las veces de aletas con un espesor de 0.1 a 0.2 mm (0.003 a 0.005 pulg) como se muestran en las figuras 1.2, 1.3 y 1.4.

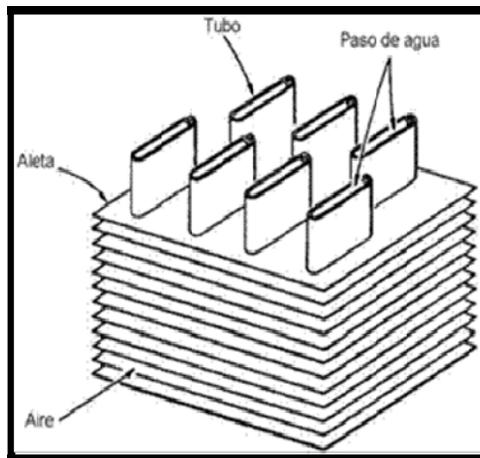


Figura 1.2. Núcleo de Tubos y Aletas.²

² ABUGABER FRANCIS, Juan, *Desarrollo y validación de una Metodología para caracterizar Termicamente Radiadores Automotrices*, p. 47.

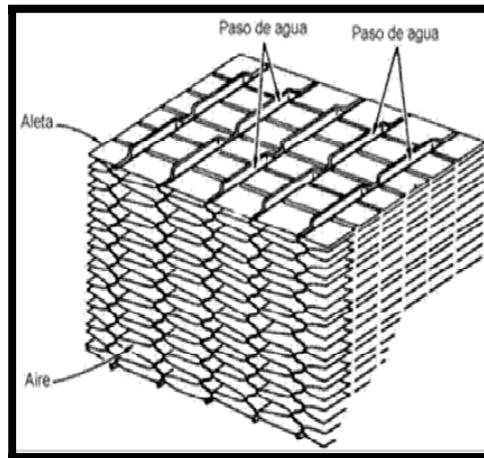


Figura 1.3. Núcleo Celular.³

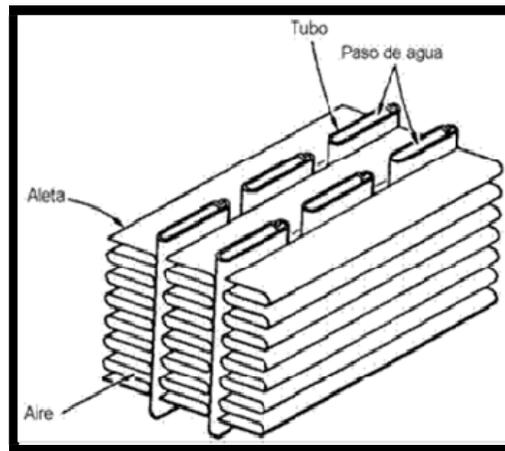


Figura 1.4. Típico núcleo de Tubos y Aletas en Serpentin.⁴

Los radiadores se pueden construir para flujo descendente o flujo cruzado. En el diseño de flujo descendente, el refrigerante que viene caliente del motor llega al tanque superior del radiador, y el refrigerante frío (o menos caliente) que se encuentra en el depósito inferior vuelve al motor completando así el circuito de refrigeración. La figura 1.5 muestra este tipo de radiador.⁵

^{3 - 4} ABUGABER FRANCIS, Juan, *Desarrollo y validación de una Metodología para caracterizar Termicamente Radiadores Automotrices*, p. 47.

⁵ ABUGABER FRANCIS, Juan, *Desarrollo y validación de una Metodología para caracterizar Termicamente Radiadores Automotrices*, p. 47.

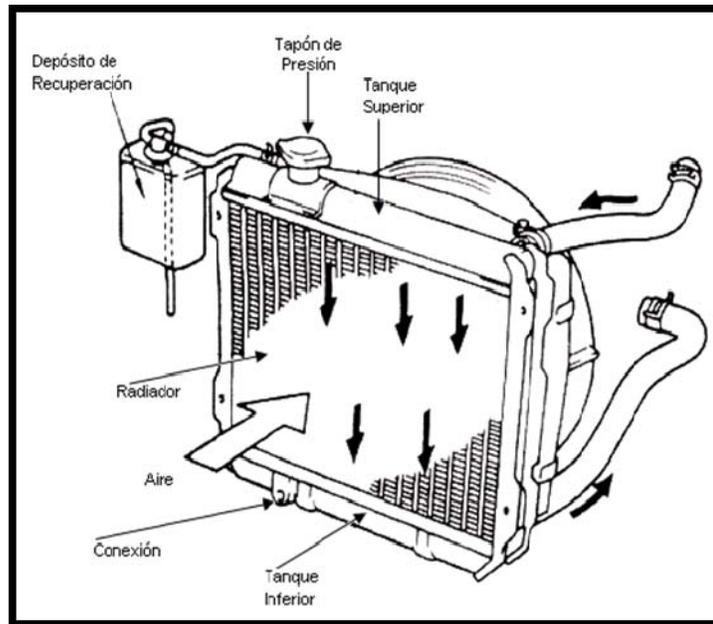


Figura 1.5. Radiador de Automóvil (flujo descendente).

En los diseños de flujo cruzado el refrigerante caliente va a un tanque lateral del radiador y fluye por el radiador a través de los tubos hacia el tanque que está en el lado opuesto. La figura 1.6 muestra este tipo de radiador.

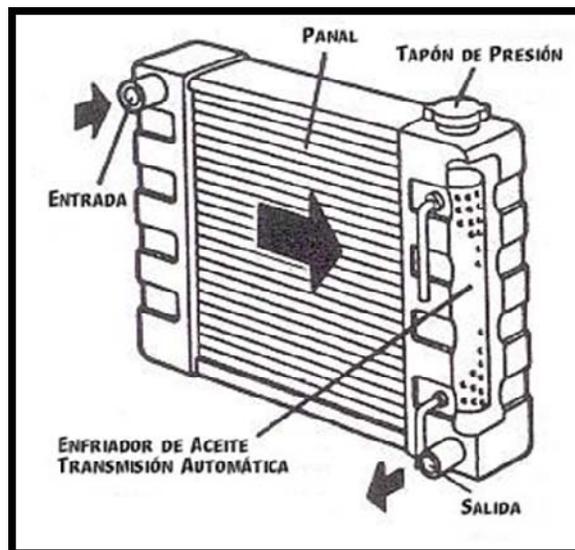


Figura 1.6. Radiador de Automóvil (flujo cruzado).

El mantenimiento de un radiador es bastante importante. Es necesario hacer una revisión una vez al año a fin de evitar la acumulación de gases en su interior, que obstaculizarían la entrada del agua caliente a ciertas partes del radiador, así como también, la revisión de las llaves de paso con las que debe contar, una para la entrada del agua caliente y otra para la salida de agua fría; llaves que permiten el equilibrio hidráulico.

1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN.

La instalación está compuesta por el sistema de potencia y control, el sistema eléctrico, mecánico y, el circuito hidráulico y neumático, así como los instrumentos de medición. En la figura 1.7 se muestra un arreglo general de la instalación.



Figura 1.7. Banco de pruebas térmica para radiadores automotrices.

1.2.1. Sistema Eléctrico de Potencia y Control.

Este sistema está compuesto por el motor eléctrico, un variador de velocidad, bancos de resistencias eléctricas y el panel de control, los cuales se describen a continuación.

Motor eléctrico. Para mover el ventilador que proporciona el flujo de aire, la instalación cuenta con un motor de corriente continua de 11.5 kW. (15.4 HP) de potencia, 60 Hz. de frecuencia, velocidad máxima de rotación 3000 rpm. a 330 V, (datos tomados de placa del motor, de fabricación francesa), como se muestra en la figura 1.8. El motor es controlado electrónicamente por un variador de velocidad que facilita la operación del mismo, ya que es posible variar de 100 en 100 rpm. su velocidad.⁶



Figura 1.8. Motor Eléctrico y ventilador acoplados.

⁶ ABUGABER FRANCIS, Juan, *Desarrollo y validación de una Metodología para caracterizar Termicamente Radiadores Automotrices*, p. 56.

El ventilador, es de tipo centrífugo acoplado al motor, es el que produce el flujo de aire, que conducido por la tubería de conexión, entre la descarga del ventilador y la sección de pruebas, llega al radiador que se prueba. En la succión del ventilador se localiza un banco de resistencias eléctricas que pueden calentar el aire, si así se requiere en la prueba.⁷

Este banco de resistencias tiene un control de temperatura y, con él se puede calentar el aire desde temperatura ambiente hasta 60 °C, como se muestra en la figura 1.9.



Figura 1.9. Ventilador y banco de resistencias.

La instalación cuenta con otro banco de resistencias eléctricas que se encuentra en la caldera el cual calienta el agua a 85 y 90 °C según se desee en la prueba, como se muestra en la figura 1.10.

⁷ ABUGABER FRANCIS, Juan, *Desarrollo y validación de una Metodología para caracterizar Termicamente Radiadores Automotrices*, p. 56.



Figura 1.10. Banco de resistencias para calentamiento del agua.

En el panel de control se encuentran los botones de arranque y paro del motor del ventilador, encendido y apagado de los bancos de resistencias y bombas del sistema hidráulico, así como la variación de las condiciones de prueba; todo esto se hace de forma manual, ver la figura 1.11.



Figura 1.11. Tablero de control.

1.2.2. Circuito Hidráulico y Neumático.

El circuito hidráulico como se muestra en la figura 1.12a y 1.12b, consta de tanque de almacenamiento, caldera eléctrica, bombas, y una red de tuberías cuyo funcionamiento se describe a continuación:



Figura 1.12a. Equipo de bombeo de agua.

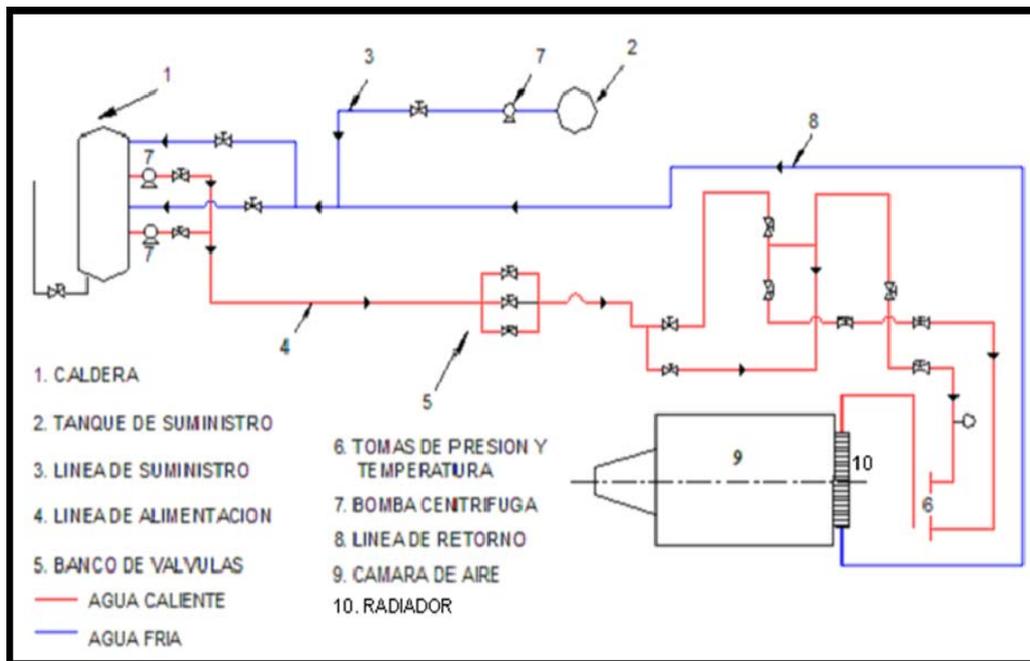


Figura 1.12b. Circuito hidráulico y caldera eléctrica.⁸

⁸ ABUGABER FRANCIS, Juan, *Desarrollo y validación de una Metodología para caracterizar Termicamente Radiadores Automotrices*, p. 61.

El equipo de bombeo simula al sistema de enfriamiento de un motor de combustión interna, funcionando de la siguiente forma: el agua llega a un depósito cilíndrico vertical de 700 mm de diámetro y 2000 mm de altura por medio de una bomba centrífuga de 1/4 de HP.

Este tanque contiene un banco de resistencias eléctricas (13.8kW) para calentar el agua a la temperatura que indique la prueba (82 – 85° C), tiene 2 bombas centrífugas de 2 HP para hacer fluir el agua a través del radiador y posteriormente regresar al cilindro vertical (Caldera).

El flujo de agua caliente que llega al radiador es controlado manualmente por válvulas de globo colocadas en la tubería de distribución y medido por un rotámetro graduado con un rango de medición de 80-280 l.p.m. o 20-70 g.p.m colocado en la entrada del radiador; tal como se muestra en la figura 1.13.



Figura 1.13. Rotámetro en la entrada del radiador y Válvulas de Globo.

La instalación cuenta con un suministro de aire a presión que, a través de una tubería y válvulas de control accionan los sellos neumáticos que se encuentran en las bridas de la descarga del ventilador y de los tubos Venturi y, entre los tubos Venturi y la entrada de la zona de pruebas, como se muestra en la figura 1.14a y 1.14b.

También se tiene un sello neumático en el bastidor que sujeta al radiador para hermetizar todo el circuito de aire, eliminando así fugas, como lo marca la norma JIS D 1614-1991, la cual indica las condiciones para realizar las pruebas para evaluar el comportamiento térmico de radiadores.



Figura 1.14a. Tubos Venturi para el suministro de aire.

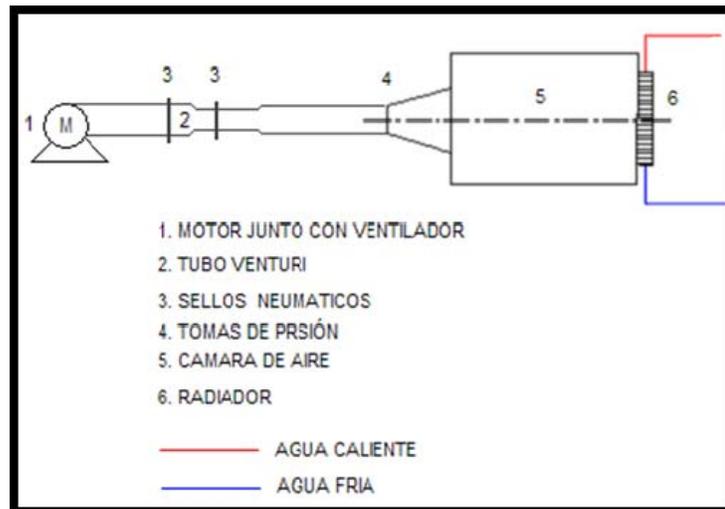


Figura 1.14b. Circuito Neumático.

1.3. INSTRUMENTACIÓN EXISTENTE.

Tanto el circuito neumático como en el circuito hidráulico está instrumentado de la siguiente forma:

Se cuentan con 2 manómetros tipo Bourdon, con estos instrumentos se mide presión del fluido a la entrada del radiador así como a la salida; además de monitorear si existe caída de presión durante la prueba de funcionamiento del radiador.

También se cuenta con 2 elementos sensores de temperatura (Termopar tipo J con un rango de mediación de -100 a 260° C) utilizados para sensar la temperatura de entrada del fluido en el radiador así como la temperatura de salida. Como se muestra en la figura 1.15 se tiene un arreglo de la instalación de estos instrumentos de medición de presión y temperatura.



Figura 1.15. Manómetro Bourdon y sensor de temperatura.

Como instrumento anexo a los sensores de temperatura se tiene un medidor de temperatura digital, el cual convierte los mV de salida enviados por el sensor a °C, que mediante un display se puede tomar lectura del aire a la entrada y salida del radiador, como se muestra en la figura 1.16.



Figura 1.16. Medidor digital de la temperatura del aire.

En la instalación de pruebas no se cuentan con elementos finales de control, sin embargo se puede considerar como elementos finales a un banco de válvulas de globo operadas manualmente para regular la cantidad de flujo cuando se realizan las pruebas a radiadores, como se muestra en la figura 1.17.



Figura 1.17. Banco de Válvulas de globo accionadas manualmente.

CAPÍTULO	2
SISTEMAS DE CONTROL	

Los controles automáticos para un proceso se pueden comparar, en importancia y función, con el cerebro y el sistema nervioso de un ser humano. Sin ellos, el organismo, independientemente de su salud física, sería una masa inerte. Los controles de un proceso se deben diseñar e instalar para acoplarse con el sistema, y deben trabajar en base a las especificaciones del equipo.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS CONTROLES AUTOMÁTICOS.

Los controles modernos con frecuencia son algo intrincados y que algunos de los dispositivos que se usan son complejos. Sin embargo, la razón principal por la que son pocas las personas que saben cómo tratar con los controles, es que no comprenden los principios básicos y cómo aplicarlos.

Esto se debe a que la mayor parte de la información se enfoca a los equipos y la forma de conectarlos. Esto en sí no permite, con frecuencia, que el técnico de servicio determine la causa de un sistema que trabaja mal. Tampoco permite que el diseñador planifique los controles que se adecuan al sistema. En este capítulo daremos importancia a los fundamentos de los sistemas de control. Estos fundamentos se pueden aplicar a controles eléctricos, electrónicos o neumáticos por igual.

2.2. EL SISTEMA DE CONTROL.

Un método para estudiar un sistema de control consiste en considerarlo como un grupo de muchos dispositivos de control. Ello conduce a su escasa comprensión; un método mejor es reconocer que todo sistema de control tiene elementos semejantes.

Esto es verdad, independientemente de qué tan grande y complejo sea el sistema, o de si es neumático, eléctrico o electrónico.

2.2.1. Sistemas de Control en Lazo Abierto.

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denomina *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 en una lavadora. En remojo, el lavado y el centrifugado 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, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. 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 sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Obsérvese que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo está en lazo abierto⁹. En la figura 2.1 se muestra la secuencia de acciones, mediante un diagrama funcional de bloques del control, este es un esquema para un control en lazo abierto.

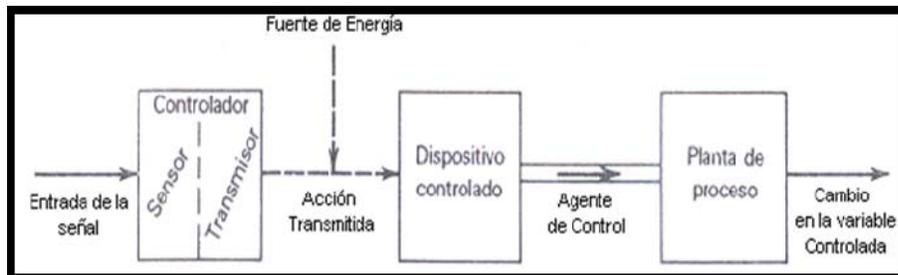


Figura 2.1. Diagrama funcional de bloques para un sistema de control de lazo abierto.

⁹ OGATA, Katsuhiko, *Ingeniería de Control Moderna*, p. 6.

2.2.2. Sistemas de Control Realimentados.

Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada se referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denominan *sistemas de control realimentado*.

Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura de una habitación. Midiendo la temperatura real y comparándola con la temperatura de referencia (temperatura deseada), el termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o de enfriamiento para asegurar que la temperatura de la habitación se mantiene en un nivel confortable independientemente de las condiciones externas. Los sistemas de control realimentados no se limitan a la ingeniería, sino que también se encuentran en diversos campos ajenos a ella.¹⁰

2.2.3. Sistemas de Control en Lazo Cerrado.

Los sistemas de control realimentados se denominan también *sistemas de control en lazo cerrado*. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usa indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado.

El termino control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. En la figura 2.2 se muestra el diagrama en bloques de un lazo convencional de control.¹¹

¹⁰ OGATA, Katsuhiko, *Ingeniería de Control Moderna*, p. 7.

¹¹ OGATA, Katsuhiko, *Ingeniería de Control Moderna*, p. 7.

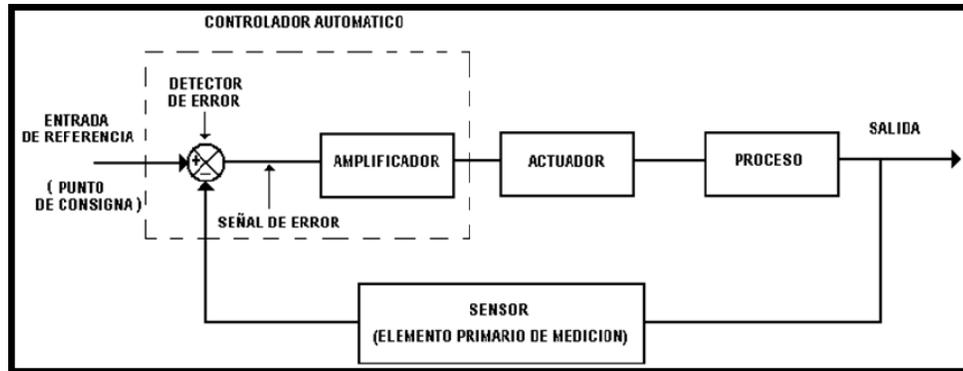


Figura 2.2. Diagrama de un Sistema de Control en Lazo Cerrado.

2.2.4. DEFINICIONES.

En base a las figuras se observan varios elementos que a continuación se describen:

1. *Una variable controlada.* Es una condición que hay que controlar, como temperatura, humedad o presión.
2. *Un controlador.* Es un dispositivo que percibe la señal de un cambio en la variable controlada y transmite una acción a un dispositivo controlado que corrige la condición que cambió. Los termostatos, humidistatos y presostatos son ejemplos de controladores. Nótese que un controlador tiene dos funciones: percibir una señal y transmitir una acción basada en la señal.
3. *Una fuente de energía.* Con ello se obtiene la energía para que se transmita la acción desde el controlador hasta el dispositivo controlado. Dos ejemplos de ello son las fuentes de energía eléctrica y de aire comprimido (neumático).
4. *Un dispositivo controlado.* Es un dispositivo que, al recibir la acción del controlador, regula el flujo u otra variable de un agente de control. Como ejemplos de dispositivos controlados tenemos una válvula, una bomba.

5. *Un agente de control.* Es el medio que regula el dispositivo controlado. Como ejemplos tenemos al agua que pasa por una válvula, el aire a través de una compuerta, o la corriente eléctrica a través de un motor.

6. *Una planta de proceso.* La regulación del agente de control varía la capacidad u operación del equipo llamado planta de proceso. Como ejemplos tenemos al serpentín de enfriamiento o de calefacción, al quemador de aceite, al ventilador, a la bomba, al compresor y al ducto. El cambio en el funcionamiento de la planta de proceso modifica la condición de la variable controlada, completando así la acción deseada.

7. *Variable de Proceso PV.* La variable medida que se desea estabilizar (controlar) recibe el nombre de variable de proceso (“process value”) y se abrevia **PV**. Un ejemplo de variable de proceso puede ser un caudal (litros/minuto), este se mide mediante algún sensor y su transductor adecuado que entreguen una señal de 4 a 20 mA proporcional al caudal. La corriente 4 a 20 mA entra al controlador en donde se resécala a las unidades originales de la PV. Ejemplos adicionales de PV pueden ser velocidad, presión, humedad, etcétera cada una de las cuales se mide con el sensor apropiado y se convierten comúnmente a 4...20mA para ingresar al sistema control.

8. *Punto de Referencia.* El punto de referencia es muy común encontrar en la bibliografía como set point SP, es el valor deseado de la variable de proceso, es el valor al cual el control se debe encargarse de mantener la PV. Por ejemplo en un horno la temperatura actual es 155°C y el controlador está programado de modo de llevar la temperatura a 200°C.

$$\text{Luego } PV = 155 \text{ y } SP = 200 \quad (2.1)$$

9. *Error*. Se define error como la diferencia entre la variable de proceso PV y el set point SP,

$$E = SP - PV \quad (2.2)$$

En el ejemplo anterior $E = (SP - PV) = (200^{\circ}\text{C} - 155^{\circ}\text{C}) = 45^{\circ}\text{C}$. Recuerde que el error será positivo cuando la temperatura sea menor que el set point, $PV < SP$.

Hasta esta parte se ha mencionado de forma general los puntos fundamentales de los sistemas de control, y como tema de interés se hablará sobre los componentes principales así como el análisis de los Sistemas de Control.

2.3. EL CONTROL ON-OFF.

Se tiene por ejemplo, el caso de un horno eléctrico. La temperatura aumenta al activar las resistencias calentadoras mediante un contactor, gobernado a su vez por un relé dentro del controlador. El modo de **control ON-OFF** es lo más elemental y consiste en activar el mando de calentamiento cuando la temperatura está por debajo de la temperatura deseada SP y desactivarlo cuando la temperatura esté por arriba, como se observa en la figura 2.3. Inevitablemente debido a la inercia térmica del horno la temperatura estará continuamente fluctuando alrededor del SP.

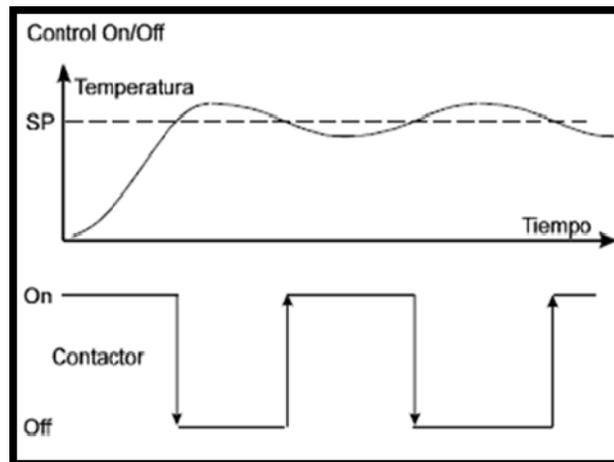


Figura 2.3. Control ON-OFF.

La inercia térmica es consecuencia del retardo en la propagación del calor en el interior del horno desde la resistencia calentadora hasta el sensor de temperatura. No es difícil imaginar que las **fluctuaciones aumentarán cuanto mayor sea la inercia térmica** del horno (retardo). Evidentemente este algoritmo de control no es el más adecuado cuando se desea una temperatura constante y uniforme, pero sí ofrece la ventaja de provocar poco desgaste en los contactores electromecánicos, pues estos se activan y desactivan lo mínimo necesario.

2.4. CONTROL PROPORCIONAL.

El control proporcional entrega una potencia que varía en forma proporcional al error (SP-PV). Para poner en marcha un controlador proporcional se debe fijar los siguientes parámetros:

- La temperatura deseada SP, por ejemplo $SP=200^{\circ}\text{C}$.
- La banda proporcional P_b , por ejemplo $P_b=10\%$.
- El tiempo de ciclo t_c , por ejemplo $t_c=4\text{seg}$.

Es de suponer que no hace falta definir el tiempo de ciclo si se va a usar una válvula motorizada como mecanismo de control. La banda proporcional **P_b** se programa en el controlador como porcentaje de SP. Correspondiente a una banda de temperatura situada por debajo del SP a lo largo de la cual, la potencia de salida variará proporcionalmente al error (SP-PV), disminuyendo cuanto más cercana sea la temperatura al SP.

Por lo tanto es importante tener presente que mientras menor sea la banda proporcional, el control proporcional se comportará más parecido al ON/OFF, es decir tenderá a presentar oscilaciones alrededor del SP.

2.4.1. Error Estacionario.

El control proporcional presenta el problema que la temperatura jamás se estabilizará justo en el valor de SP. En la práctica se estaciona siempre en un punto dentro de la banda proporcional produciendo así el “**error estacionario**”. La razón es fácil de entender recurriendo a nuestro ejemplo. Suponga que la temperatura se estacionará en 200°C en forma estable y permanente, entonces la salida sería 0%.

Pero siempre es necesario suministrarle al horno algo de potencia, por lo menos para compensar las pérdidas de calor al medio ambiente o calor contenido en el material que sale del horno. Es evidentemente imposible que el horno se mantenga a 200°C con los calefactores permanentemente apagados. Luego la temperatura tiene que descender un poco, lo suficiente para que la potencia suministrada por los calefactores sea igual a las **pérdidas de energía** del horno (energía que sale del horno).

Suponga que para el horno las pérdidas son tales que hace falta 25% de la potencia de los calefactores para mantener la temperatura alrededor del SP. Luego la temperatura se estacionará establemente a 195°C pues para esa temperatura la salida es 25% (ver tabla No. 1). Al valor del error en este punto, 5°C se le llama **error estacionario**.

El error estacionario se puede reducir disminuyendo la banda proporcional. Pero reducir mucho la banda proporcional volverá oscilatorio nuestro sistema (mas parecido a un ON /OFF), luego existe un limite inferior y siempre habrá algo de error estacionario. Otro problema generado al aumentar la banda proporcional para eliminar las oscilaciones, es que el control pierde efectividad para responder rápidamente a perturbaciones externas (variaciones de la carga del horno, apertura de una puerta, etc.) para mejorar la respuesta a transientes del control se utiliza un control proporcional derivativo.

2.5. CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO PD.

Un control **PD** es uno proporcional al que se le agrega la capacidad de considerar también la velocidad de la temperatura en el tiempo. De esta forma se puede “adelantar” la acción de control del mando de salida para obtener así una temperatura mas estable.

Si la temperatura está por debajo del SP, pero subiendo muy rápidamente y se va a pasar de largo el SP, entonces el control se adelanta y disminuye la potencia de los calefactores. A revés si la temperatura es mayor que el SP, la salida debería ser 0% pero si el control estima que la temperatura baja muy rápido y se va a pasar para abajo del SP, entonces le colocan algo de potencia a la salida para a ir frenando el descenso brusco.

La acción derivativa es llamada a veces “**rate action**” por algunos fabricantes de controles porque consideran la “razón de cambio” de la variable de proceso. Para entender a fondo el control **PD** usaremos el mismo ejemplo anterior del horno pero agregamos ahora un nuevo parámetro llamado constante derivativa **D**, medido en segundos.

2.6. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL PI.

2.6.1. Ajuste Manual.

Una forma de eliminar el error estacionario puede ser aumentando, mediante algún ajuste manual, un 25% de salida del controlador de modo que se estacione en 200°C.

Algunos controladores antiguos permitían este ajuste y era llamado **“manual reset”** o **“ajuste manual”**, el problema de este ajuste es que será efectivo mientras el horno éste con las mismas características que cuando se realizó. Por ejemplo, si por alguna razón las pérdidas del horno disminuyen al 20%, la temperatura subirá por arriba de 200°C creando un error por arriba de SP.

2.6.2. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL PI.

La forma efectiva de solucionar el problema del error estacionario es agregando al control proporcional el termino **“integral”** llamado también a veces **“automatic reset”** o **“reset action”**, pero para este capítulo se le llamará **“acción integral”**. El control será el mismo proporcional pero a la salida se le suma la acción integral que la corrige tomando en cuenta la magnitud del error y el tiempo que este ha permanecido. Para ello se programa en un controlador una constante **I** que es formalmente **“la cantidad de veces que aumenta la acción proporcional por segundo”**. La salida se corrige en una cantidad equivalente a la integrar del error multiplicada por **I**. La integral del error es simplemente la suma acumulada de los errores medidos por el controlador cada segundo.

El proceso continuará de la misma forma aumentando el tamaño de la magnitud hasta que en algún momento el error sea finalmente eliminado, pues sólo en ese momento se detendrá el incremento de la potencia de salida. Entonces será la magnitud (la integral) quien supla el **“ajuste”** de la potencia necesaria para mantener el horno a 200°C.

Por muy pequeño que sea el valor programado de **I**, siempre se corregirá el error estacionario, pero tardará más tiempo en hacerlo. Al revés si se programa un valor excesivo de **I**, entonces la acción integral tendrá mucha fuerza en la salida y el sistema alcanzará rápidamente el SP, pero lo más probable es que siga de largo por efectos de la inercia térmica. Entonces la acción integral (con error negativo) será en sentido contrario, la magnitud irá disminuyendo rápidamente por la magnitud del error. Como consecuencia abra una excesiva disminución de la potencia de salida y la temperatura probablemente baje del SP, entrando así el sistema en un ciclo oscilatorio.

En la práctica normalmente **I deberá ser grande solo en sistemas que reaccionan rápidamente**, (por ejemplo controles de velocidad de motores) y pequeño para ser sistemas lentos con mucha inercia. (Por ejemplo hornos). En general los valores de la constante **I** son relativamente pequeños, para la mayoría de los sistemas el valor adecuado de **I** varía entre 0 y 0.08 1/seg. Por ese motivo en muchos controladores la cantidad **I** se programa multiplicada por 10000. Es decir que para tener una acción integral de 0.01/seg, se programa:

$$I=0.01 \times 10000=100 \quad (2.3)$$

2.7. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO PID.

El control PID es un controlador proporcional con acción derivativa y con acción integral simultáneamente superpuestas. Se dice que un sistema y su controlador tienen un comportamiento **inestable** cuando después de un tiempo razonable de funcionamiento y sin ocurrir perturbaciones externas, la temperatura permanece fluctuando en forma oscilatorio ya sea con un periodo regular o errático.

Siempre se busca que el sistema de control sea estable, pero además, dentro de las condiciones de estabildades existen tres tipos de comportamiento bien definidos: **control subamortiguado, control con amortiguamiento crítico y control sobre amortiguado.**

El sistema **sobreamortiguado** tiene una velocidad de respuesta lenta, después de que ocurra una perturbación, el sistema puede tardar en volver al SP, pero la ventaja es que el sistema es muy estable y no adquiere comportamientos oscilatorios indeseables. Esta condición tiende a ocurrir cuando la banda proporcional cuando la banda Pb es más grande de lo necesario. También puede deberse a una constante derivativa **D** muy grandes, basta acordarse de que la acción derivativa tiene a frenar la temperatura.

En el otro extremo, cuando un sistema se comporta de modo **subamortiguado** la velocidad de respuesta es muy buena pero pueden ocurrir varias oscilaciones de cierta amplitud antes de que la temperatura llegue a un valor estable. Suele ocurrir esta condición cuando la banda proporcional Pb es pequeña (se parece a un ON-OFF), la constante derivativa **D** pequeña y la constante de integración **I** grande.

El justo medio entre las condiciones anteriores es el **amortiguamiento crítico**. A esta condición corresponde los valores óptimos de los parámetros **P, D, I**. en este caso el sistema es bastante estable y la velocidad de respuesta es la mejor que se puede lograr.

En la figura 2.4 se muestra ejemplos de estos comportamientos. En cada uno de estos casos varia la velocidad de respuesta en el sistema ante perturbaciones y a la vez la propensión a tener comportamiento inestable u oscilatorio.

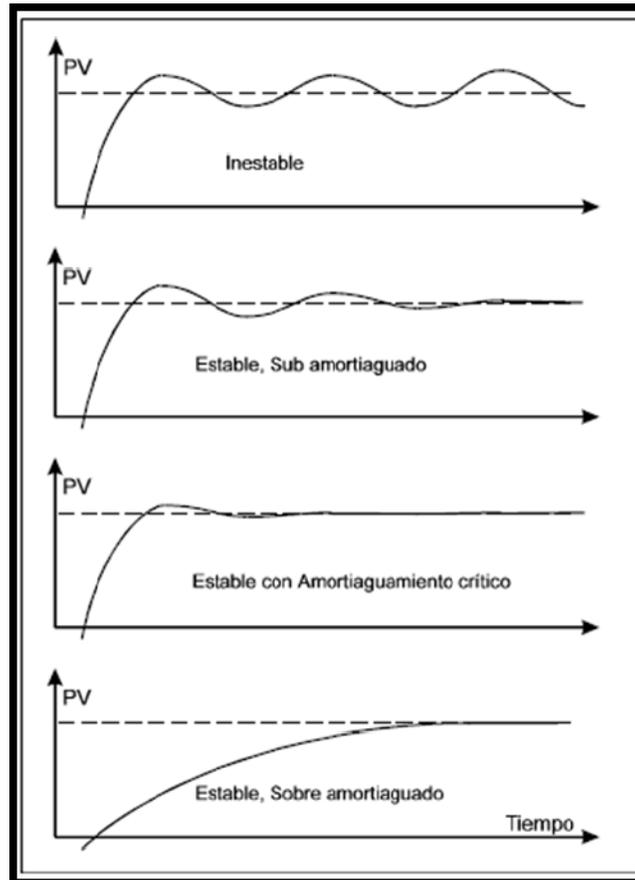


Figura 2.4. Tipos de comportamiento del PID.

2.8. SINTONIZACIÓN DE UN PID.

Los valores de la banda proporcional P_b , constante de integración I , constante de derivación D y tiempo de ciclo t_c (si se operará con contactores), determina el correcto funcionamiento del controlador.

Para cada sistema (maquina, horno, etc.) existe un conjunto de estos parámetros que optimiza el funcionamiento del sistema, redundando en la mejora de la producción y economía de energía. Por otra parte una selección no adecuada de parámetros podría provocar un control inestable, es decir una temperatura oscilante y susceptible a perturbaciones.

Los valores óptimos para estas constantes son aquellos en que el sistema exhiba un “amortiguamiento critico”. Encontrar analíticamente estos valores resulta prácticamente imposible, pero existe dos métodos prácticos para encontrar una buena aproximación de estas constantes. Ambos métodos están basados en la publicación de **J.G. Ziegler** y **N.B. Nichols** del año 1942. Desde entonces se utilizan esencialmente estos mismos procedimientos.

Tabla 2.1. Fórmulas de Sintonización de Ziegler y Nichols.

	ts Establecimiento	td Levantamiento	Mp Sobreimpulso	e(t) Error
P – Proporcional	Aumentar	Disminuir	Aumentar	disminuir
I – Integral	Aumentar	Disminuir	Aumentar	Eliminar
D - Derivativo	Dismunir	Aumentar	Disminuir	Sin cambio

2.8.1. Método de las Oscilaciones de Lazo Cerrado.

El primer procedimiento aquí descrito es práctico y simple no requiere equipo adicional, pero existen casos en que puede ser útil un registro grafico de la temperatura. Lo ideal es el sistema de comunicaciones RS485 para sacar gráficos en pantalla.

1. Un valor razonable de t_{c1} con el que se puede empezar y luego modificar es $t_{c1}=6$ segundos.
2. Ajuste el valor de “SP1” a la temperatura de operación.
3. Ajuste la banda proporcional a $P_b=$ ”Prop”=10% para empezar.
4. Retire la acción integral y derivativa colocando:

$$I=$$
”Intg”=0 (2.4)

$$D=$$
”dEri”=0 (2.5)

5. Permita ahora que el sistema funcione por un rato suficiente como para que la temperatura llegue a “SP1” y exhiba un comportamiento regular, ya sea estable o si no oscilatorio alrededor de “SP1”. Esto puede tomar en algunos sistemas un tiempo de 30 minutos.
6. Si en este momento la temperatura adquiere un comportamiento oscilatorio regular, aumente P_b al valor inmediatamente superior. Espere un tiempo prudente para ver si persisten las oscilaciones, si ocurren vuelva a aumentar P_b .
7. Si el sistema se estabilizó en una temperatura constante inferior al “SP1”, contenida dentro de la banda proporcional y sin oscilar (error estacionario), entonces disminuya un poco la banda proporcional P_b hasta que empiece a ocurrir las oscilaciones (cuando pasa de estable sub amortiguado a inestable).
8. Cada vez que disminuye la banda proporcional, debe esperar un tiempo prudente como para observar si han empezado las oscilaciones.

2.8.2. Método de la Respuesta al Escalón.

El método Ziegler – Nichols consiste en observar la respuesta del sistema a una señal de control del 100% en forma de escalón, elaborando un grafico de la temperatura contra el tiempo. Disponer de salidas de gráficos será muy útil, casi imprescindible. El método tiene un efecto y es que no siempre se puede poner al máximo la salida del control sin el riesgo de sobre calentar el material en el horno. Si no se presenta éste problema, se procede de la siguiente forma:

1. En el instante de tiempo $t=0$ active la salida de mando de calentamiento al máximo. Esto se puede hacer manualmente en las conexiones a los contactores o bien simplemente coloque un valor de SP mucho más alto de lo que se usará normalmente y con $D=0$, $I=0$.
2. Elabore un grafico de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) contra el tiempo (seg.). El gráfico se considera suficiente en el momento en que la temperatura ya no crece con el máximo de velocidad que pudo alcanzar. Se obtendrá de esta forma un grafico similar al de la figura 2.6.

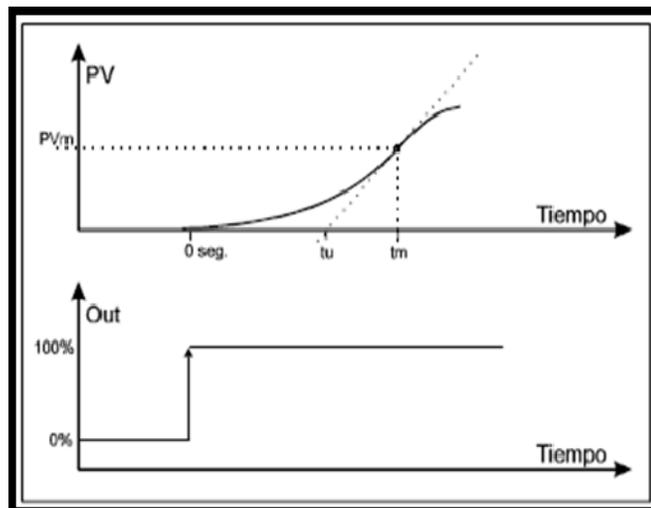


Figura 2.6. Respuesta al escalón.

3. Determine el punto de gráfico en que la curva obtuvo su mayor pendiente o velocidad de subida. Sean (tm, PVm) las coordenadas de ese punto.
4. Trace una recta tangente al punto (tm, PVm) y que corte el eje del tiempo en un tiempo tu .
5. El valor tu es un retardo característico del sistema, bastante similar al tiempo t de oscilación hallado por el método de las oscilaciones (t debe ser aproximadamente $2tu$).
6. Los parámetros óptimos determinados por este método son los siguientes:

$$V_{\max} = \frac{PVm}{tm - tu} \quad (2.10)$$

$$"Prop" = \frac{1.7 * V_{\max} * tu * 100\%}{SP} \quad (2.11)$$

$$"dEri" = \frac{tu}{4} \quad (2.12)$$

$$"Intg" = \frac{0.5 * 10000}{tu} \quad (2.13)$$

$$"tc1" = \frac{tu}{2} \quad (2.14)$$

2.9. PWM Y TIEMPO DE CICLO.

Para poder controlar la temperatura con menos fluctuaciones, se debe poder entregar al horno una potencia gradual, en la medida requerida para mantenerlo a la temperatura deseada.

En el ejemplo anterior del control ON-OFF, el relé del mando de calentamiento estará activado 100%, entregando el máximo de potencia al horno o bien desactivado sin entregar potencia.

El controlador proporcional entrega una potencia que varía en forma gradual entre 0 y 100% según se requiera y en forma proporcional al error ($SP - PV$). Lo más natural para entregar una potencia que varía de 0 a 100% en forma continua sería usar un horno a petróleo o gas y que el control module la potencia mediante la llave de paso del combustible. La llave cerrada sería 0% de potencia y la llave totalmente abierta sería 100%. El problema es que una **válvula motorizada** (gobernada mediante una señal 4-20 mA) es costosa y solo se justifica en aplicaciones que así lo requiera.

2.9.1. Tiempo de Ciclo.

Afortunadamente es posible modular de 0 a 100% la potencia que recibe un horno eléctrico mediante el mismo contactor que se usaría para un control ON-OFF. La idea es modular el tiempo de activación del contactor durante un lapso de tiempo fijo t_c , llamado **tiempo de ciclo**, menor al tiempo característico de respuesta del horno de modo que el horno reciba finalmente un promedio de la potencia. Para ilustrar esta técnica conocida como modulación por ancho de pulso **PWM (Pulse-Width Modulation)** se recurre al siguiente ejemplo:

Un horno posee un tiempo de respuesta de 1 minuto. Al aplicar pulsos de calentamiento periódicos de 4 segundos, modulados en duración, el horno experimentará un calentamiento proporcional al promedio de tiempo que ha estado activado, sin que su temperatura siga las fluctuaciones de 4 segundos con que se aplica la potencia.

Ahora, el horno funciona con un calefactor de 1000W, si se requiere una potencia de 500W equivalente a 50% de la total, entonces se activa 2 segundos el relé y se desactiva otros 2, para luego empezar otro ciclo. El efecto neto será que el horno recibe 50% de la potencia para la temperatura no fluctúa al ritmo del tiempo de ciclo pues éste es menor al tiempo de respuesta del horno.

Siguiendo con el ejemplo, si hace falta 250W, es decir 25% de la potencia basta con tener 1 segundo activado el relé y 3 segundos desactivados.

Para sistemas típicos el tiempo de ciclo se ajusta entre 1 y 200 segundos según sea el caso. A mayor tiempo de ciclo, menos desgaste de los contactores, pero siempre tiene que ser inferior al tiempo característico del sistema. La práctica recomendada es usar un tiempo de ciclo igual a la mitad del tiempo característico del sistema, se observa en la figura 2.7.

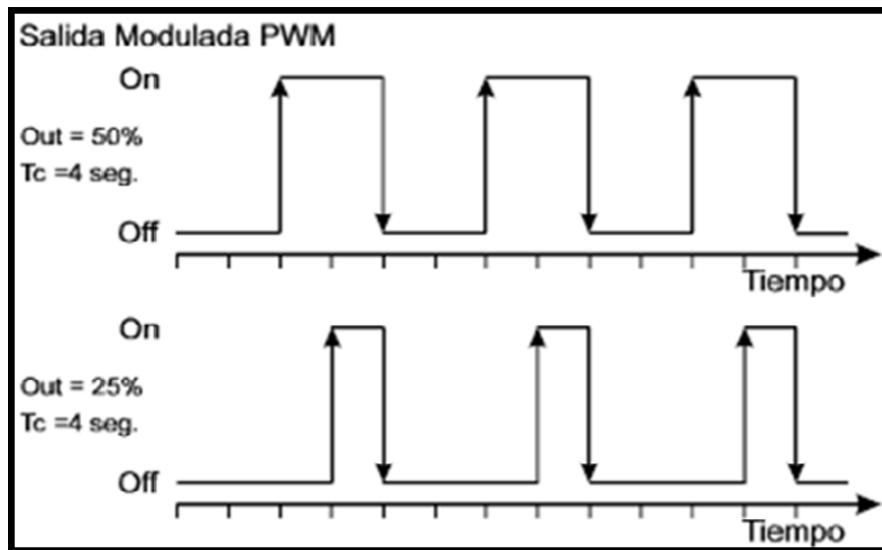


Figura 2.7. Salida Modulada PWM.

Como se hace referencia en la introducción de este trabajo, el equipo que ha sido objeto de estudio es una instalación de pruebas a radiadores dentro de la enseñanza en el área de termofluidos cuya principal estudio es la transferencia de calor. En este capítulo se describirá de forma general el proceso, la instrumentación y el equipo de control propuesto.

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO.

La instalación experimental es adecuada para realizar pruebas de disipación de calor, pérdidas de presión lado agua y lado aire y determinar la efectividad térmica a diferentes tipos de radiadores automotrices, para diferentes condiciones de operación.

Para llevar a cabo las pruebas a los radiadores en la instalación experimental se siguen los siguientes pasos:

1. Colocar en la zona de pruebas del túnel viento el radiador y conectarlo al circuito hidráulico por medio de mangueras cuidando que no existan fugas.
2. Verificar que el suministro y gasto volumétrico de agua sea el permitido para tener una circulación completa en el sistema.
3. Regular el flujo de agua determinado para la prueba por medio de las válvulas instaladas en la línea de suministro, la lectura de este flujo se indica por medio rotámetro instalado en la tubería.
4. Regular el flujo de aire del sistema por medio de un potenciómetro que se encuentra en el tablero de control el cual permite variar las rpm del ventilador centrífugo controlando así la velocidad del aire que llega al radiador.

5. Antes de iniciar la prueba se debe revisar los instrumentos de medición de temperatura de aire y agua colocados en la entrada y salida del radiador, así como los medidores de presión del líquido refrigerante en la entrada y salida de radiador.
6. Se conectan las resistencias eléctricas de la caldera del sistema hidráulico y se deja calentar el fluido hasta $85^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
7. Se toman los datos de las condiciones ambientales, temperatura y presión barométrica, para cada prueba experimental que se lleve a cabo.
8. Ya teniendo las condiciones de operación se puede iniciar la prueba.
9. Se toman los datos de temperatura del aire y del agua a la entrada y salida del radiador, se calcula la diferencia de presión del líquido refrigerante entre la entrada y salida del radiador.
10. Regulando la velocidad del motor se controla el flujo de aire que se requiere en la prueba experimental.
11. Obtenidas las lecturas anteriores (velocidad del aire en el área frontal del radiador, flujo volumétrico del líquido y temperaturas del líquido a la entrada y salida del radiador) y conocida la densidad y el calor específico del líquido, se calcula la disipación de calor (kW) para diferente flujos de aire y líquido. Asimismo se obtiene el balance térmico del sistema, calculando la potencia calorífica cedida por el líquido refrigerante y la potencia calorífica ganada por el aire que pasa a través del radiador.

La metodología anterior se puede representar en el siguiente diagrama de flujo.

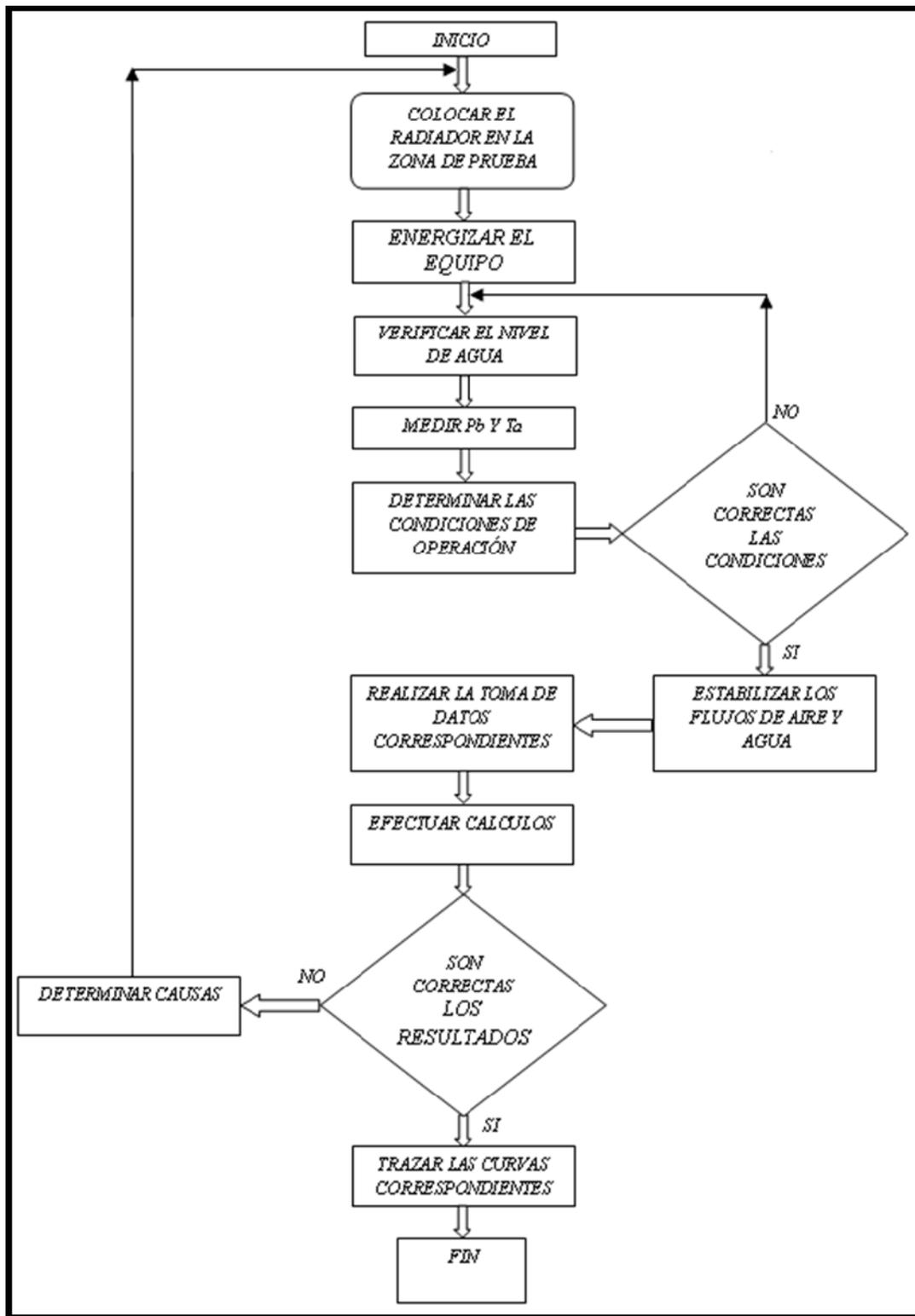


Figura 3.1. Diagrama experimental para pruebas térmicas a radiadores.

La instalación experimental cuenta con dos circuitos de proceso. El circuito del fluido de servicio se muestra en la figura 3.2. Para este caso el fluido de servicio es aire a temperatura ambiente, la cual se obtiene a través de un ventilador centrífugo, éste llega a través de los tubos Venturi hasta la zona de pruebas, donde se encuentra montado el radiador. El ventilador simula una corriente de aire que, al pasar transversalmente por el radiador, ejerce un efecto de ventilación como cuando el automóvil se encuentra en movimiento. Por lo que el flujo de aire ésta en función de la velocidad que desarrolle el motor del ventilador



Figura 3.2. Circuito del Fluido de Servicio.

El circuito del fluido de proceso se muestra en la figura 3.3. El fluido de proceso es agua que se encuentra en la caldera cuya capacidad es de 1200 litros. El agua se calienta por medio de 4 resistencias eléctricas hasta llegar a una temperatura alrededor de los 85 °C, ésta es impulsada hacia el radiador por medio de dos bombas accionadas cada una por un motor de 2 HP con alimentación de 220 V CA.



Figura 3.3. Circuito del Fluido de Proceso.

El fluido pasa a través de un arreglo de válvulas para regular la cantidad de flujo que entra al radiador. El fluido continúa su viaje, antes de internarse en el radiador, la temperatura es medida al igual que la presión, con la finalidad de monitorear y conocer a que temperatura y presión entra dicho fluido. Una vez que el fluido abandona el radiador, la temperatura y la presión es medida nuevamente; y finalmente regresa a la caldera.

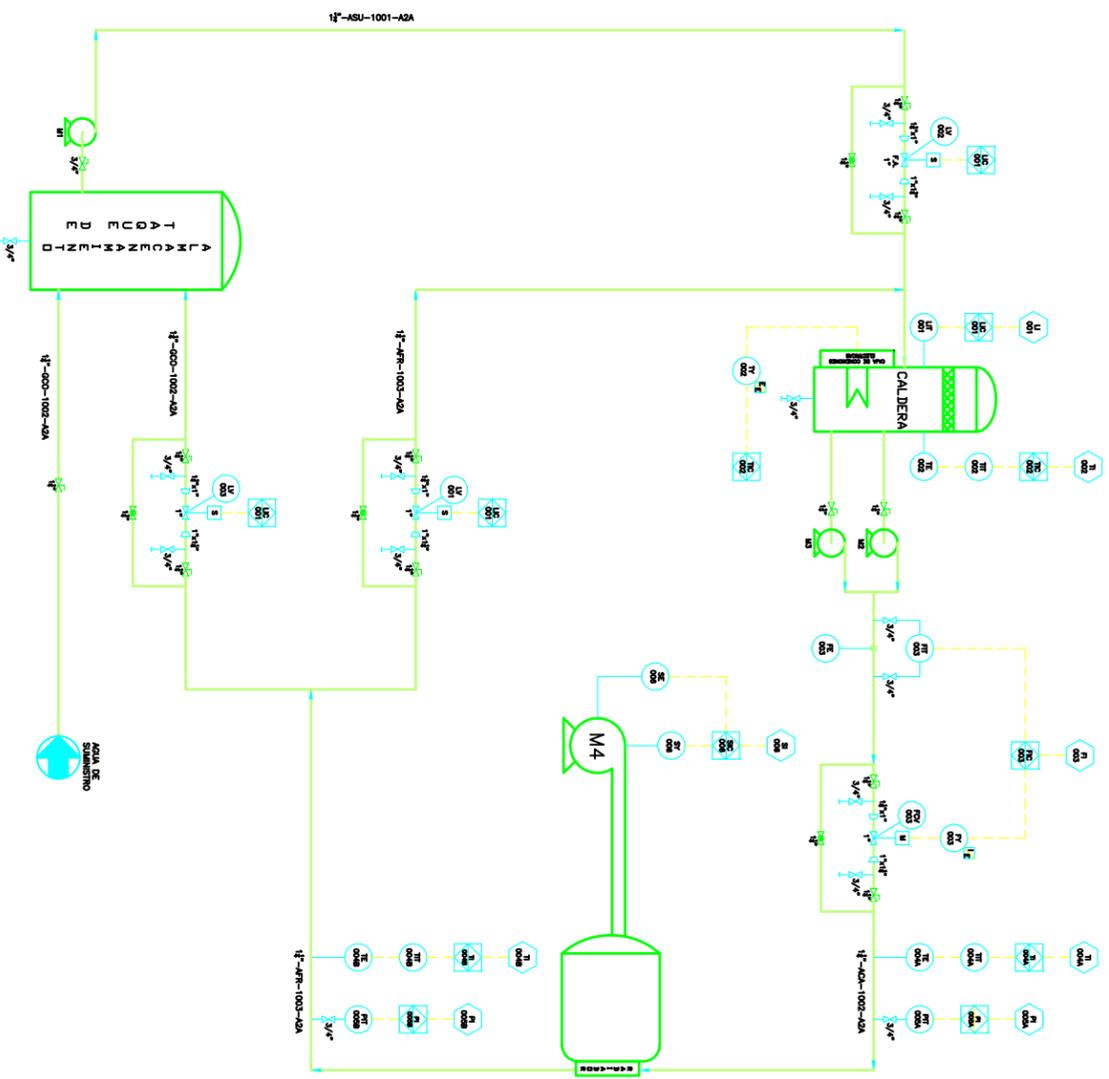
3.2. INSTRUMENTACIÓN PROPUESTA.

Como parte del proyecto se contempla la propuesta de los nuevos instrumentos de medición así como de elementos finales de control; éstos se muestra en un diagrama esquemático de proceso en donde se encuentran indicados, así como el envío de las señales de control hacia el sistema y del sistema a los diferentes elementos finales de control. A continuación se muestra la tabla 3.1 donde se menciona los instrumentos que se cambiaran y/o agregarán a la instalación:

Tabla 3.1. Instrumentacion actual y propuesta.

INSTRUMENTO		ACCIÓN
ACTUAL	PROPUESTO	
INDICADOR DE PRESIÓN TIPO BOURDON	ELEMENTO PRIMARIO Y TRANSMISOR DE PRESIÓN	CAMBIO
TERMOPAR	ELEMENTO PRIMARIO Y TRANSMISOR DE TEMPERATURA	CAMBIO
	ELEMENTO PRIMARIO Y TRANSMISOR DE FLUJO	AGREGAR
	INDICADOR TRANSMISOR DE NIVEL	AGREGAR
ELEMENTOS FINALES DE CONTROL		
	VALVULA REGULADORA DE FLUJO	AGREGAR
	VALVULAS SOLENOIDES	AGREGAR

En la figura 3.4 se muestra la instrumentación que se pretende adecuar; a continuación se describe de manera general las características de cada instrumento de medición propuesto para las diferentes variables que intervienen en el desarrollo del proceso de pruebas térmicas en la instalación.



DESCRIPCION		FECHA POR		NUMERO		DIBUJOS DE REFERENCIA		APROBADO POR		DIBUJO ELABORADO EN : MEXICO, D. F.		FEB. 2008		ESQ.: S/E		ACOT.: SIN		LOCALIZACION		DIAGRAMA No.		REV.	
DESCRIPCION		FECHA POR		NUMERO		DIBUJOS DE REFERENCIA		APROBADO POR		DIBUJO ELABORADO EN : MEXICO, D. F.		FEB. 2008		ESQ.: S/E		ACOT.: SIN		LOCALIZACION		DIAGRAMA No.		REV.	

3.2.1. Elementos de Medición y Transmision.

Son los dispositivos que se encargan de transformar la variable de ingeniería (temperatura, por ejemplo) en una señal mecánica, eléctrica, etc. que puede ser usada por otros instrumentos (indicadores, controladores, registradores, etc.). Estos dispositivos tienen dos elementos:

- **Elemento primario:** es el que capta la variable a medir y produce cambios en propiedades físicas que luego puede transformarse en una señal.
- **Elemento secundario:** capta la señal elaborada por el elemento primario y la transforma en una salida (indicación por ejemplo) o genera una señal estandarizada que puede ser captada por otro instrumento en forma local o remota.

Estas dos partes pueden estar claramente separadas como en el caso de un tubo Venturi (elemento primario) con transmisor de presión diferencial (elemento secundario) o bien ambos elementos están confundidos en un mismo dispositivo (medidor de presión tipo Bourdon con indicación de aguja). Analizando las relaciones causa efecto, se puede representar a un medidor-transmisor como dos sistemas en serie, como se observa en la figura 3.5.

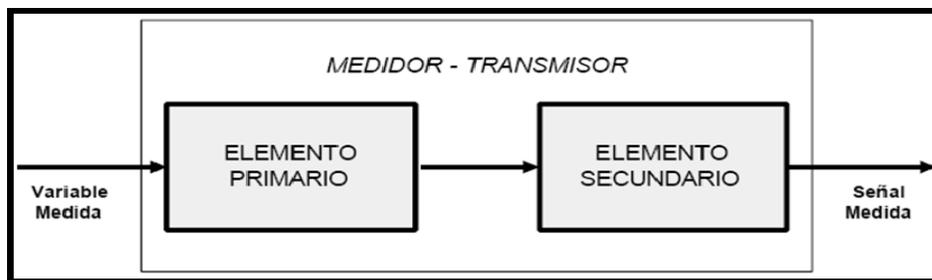


Figura 3.5. Diagrama a bloques de un elemento de medición.

3.2.2. Nivel.

En la caldera se necesitará de un transmisor de nivel (LIT-001) que se ubicará en la parte superior, tal como se muestra en la figura 3.6. Con ello se podrá implementar el control de nivel en dicha caldera tanto en el llenado así como durante el calentamiento del fluido durante las pruebas.



Figura 3.6. Instalación del transmisor de nivel en la Caldera.

El principio de medición de nivel es de tipo capacitivo, el cual se basa en el cambio en la capacitancia en los condensadores debido al cambio en el nivel del líquido. La sonda y la pared del tanque (material conductor) forman un condensador eléctrico.

El transmisor de la sonda convierte la medida del cambio en la capacitancia del líquido a una señal en proporción al nivel (de 4 a 20 mA) y, por tanto, hace posible mostrar el nivel en la interface del usuario, para mayor información consultar los anexos “A y E”.

3.2.3. Temperatura.

A continuación se describen los siguientes transmisores de temperatura propuestos, cuyo termopar es de tipo T (-270 °C a 400°C).

- **TIT-001:** Que se ubicará en el tanque calentador, el cual forma parte del sistema de control de temperatura, para mantener al fluido de proceso dentro de los $85^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ}$, que es montado tal como se muestra en la figura 3.7, para mayor información consultar los anexos “A y E”.



Figura 3.7. Instalación del transmisor de temperature en la Caldera.

- **TIT-002 y TIT-003:** Los cuales se encuentran montados a la entrada y salida del radiador, los cuales cuentan con un display para realizar la configuración y/o calibración además de que se puede tomar lectura de la medición, ya que forman la parte de la adquisición de datos de temperatura para poder realizar el análisis térmico del radiador, en la figura 3.8 se muestra la instalación, para mayor información consultar los anexos “A y E”.

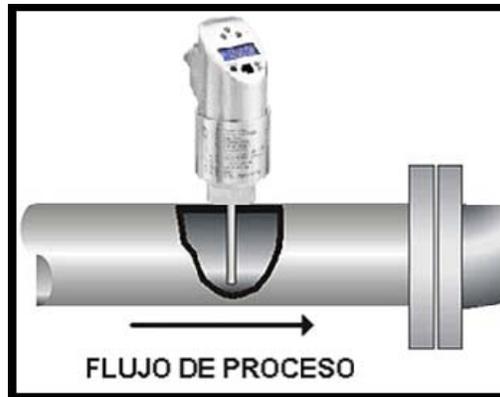


Figura 3.8. Instalación del transmisor indicador en la tubería.

Los transmisores convierten de diversas señales de entrada (RTD, TC) en una señal analógica escalable de 4 a 20 mA o señal de salida de un protocolo de bus de campo. La instalación puede ser remota, o ya sea en campo directamente en el sensor.

3.2.4. Flujo.

Se propone un transmisor indicador de flujo FIT-001 (ver anexo “A” para más información del equipo) montado en la línea de flujo de proceso (1 1/4”-ACA-002-A01). Equipado con un elemento primario de medición Deltatop (placa de orificio) un transmisor Deltabar con una señal de salida de 4-20 mA+HART, PROFIBUS y FIELDBUS, lo que ayuda a enlazarse con el sistema de control de flujo de la instalación de pruebas en donde mediante la interface se muestra la medición del flujo de proceso, como se muestra en la figura 3.9, para mayor información consultar los anexos “E”.



Figura 3.9. Transmisor de flujo Deltabar.

3.2.5. Presión.

En la instalación se propone dos transmisores de presión (PIT-001 y PIT-002) para medir la presión a la que entra y sale el fluido de proceso en el radiador, como se muestra en la figura 3.10.

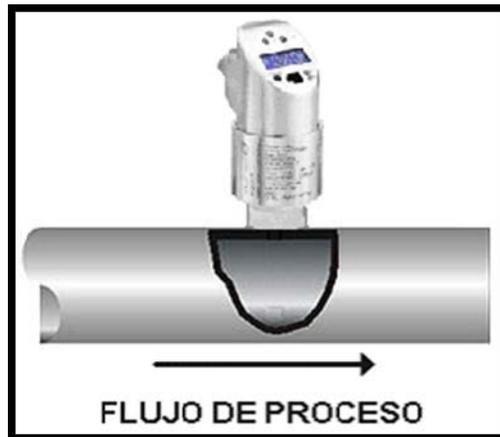


Figura 3.10. Instalación del transmisor indicador de presión en la tubería

Estos instrumentos cuentan con un display para realizar la configuración y/o calibración, además de que se puede tomar lectura de la medición; también forman la parte de la adquisición de datos del sistema para determinar la caída de presión que se presenta durante el desarrollo de las pruebas, para mayor información consultar los anexos “A y E”.

3.2.6. Elementos Finales de Control.

Elemento final de control (actuador) es un dispositivo que modifica directamente los valores de la variable manipulada en un lazo de control. Generalmente el elemento final de control es una válvula de control.

De los elementos de un lazo de control, es el que mayor cantidad de energía maneja. En la figura 3.11 podemos ver el diagrama en bloques de un lazo cerrado convencional de control.

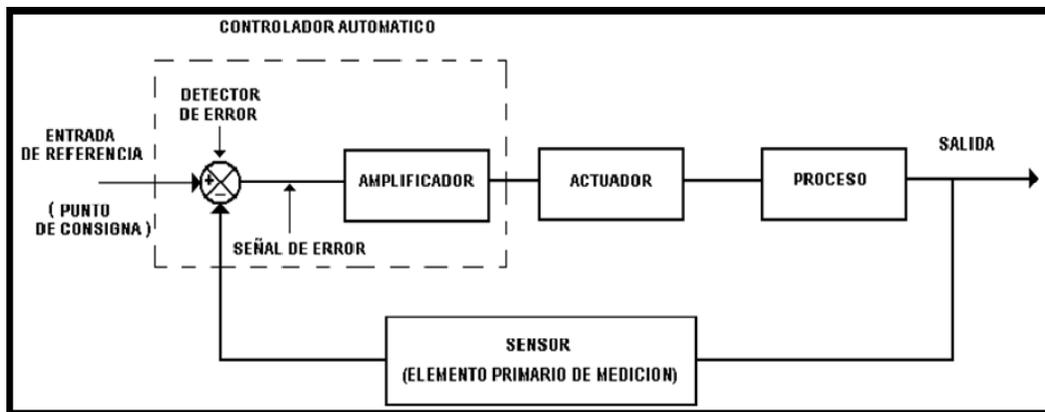


Figura 3.11. Diagrama de un Lazo de Control.

Con lo anterior se describe de manera general la siguiente válvula que forma parte del control de flujo de proceso.

3.2.6.1. Válvula Reguladora de Flujo (FVC-001).

La válvula de control es el elemento final de regulación comúnmente utilizado en todo sistema de control; es básicamente, un orificio de restricción variable y su función consiste en modular, de acuerdo con una señal de control, el caudal de un fluido de proceso, manteniendo el equilibrio del sistema.

Para la instalación de pruebas se propone a una válvula de control con actuador modulante electrónico, de motor a pasos de tecnología avanzada para proporcionar la modulación continua sin restricción y el control de posición exigente, que trabaja con una señal de control de 4 - 20 mA, 0-5 V DC ó 0-10 V DC; especial para el control de flujo que se realizará durante de las pruebas, en la figura 3.12 se muestra la válvula propuesta, para mayor información consultar los anexos “A y E”.



Figura 3.12. Válvula reguladora de flujo.

3.3.6.2. Válvula Solenoide (LV-001, LV-002 y LV-003).

A demás de la válvula reguladora de flujo, están las válvulas solenoides para los controles de nivel, como se muestra en la figura 3.13. La válvula de solenoide es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta. A diferencia de las válvulas motorizadas, las cuales son diseñadas para operar en posición moduladora, la válvula de solenoide no regula el flujo aunque puede estar siempre completamente abierta o completamente cerrada, para mayor información consultar los anexos “A y E”.



Figura 3.13. Válvula Solenoide típica de acción directa, normalmente cerrada de dos vías.

3.2.6.3. Relevador de Estado Solido (Ssr).

No solo la válvula es un elemento final de control, también lo son los relevadores de estado sólido (SSR). Se llama relé de estado sólido a un circuito híbrido, normalmente compuesto por un optoacoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac o dispositivo similar que actúa como interruptor de potencia.

Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico; este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico, se observa en la figura 3.14.

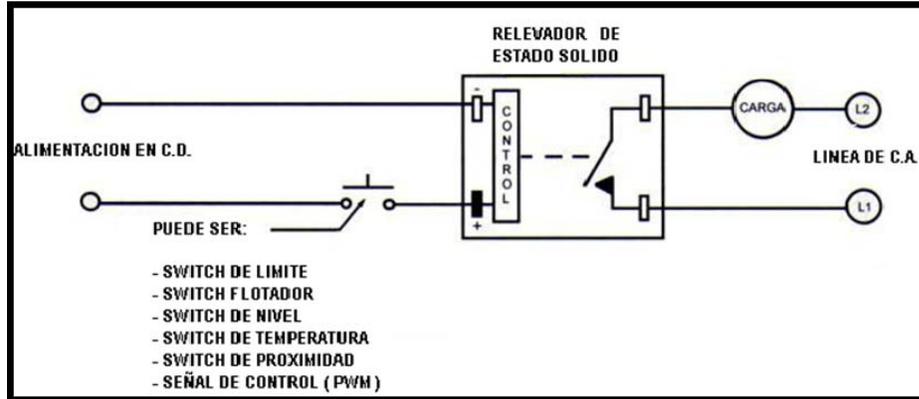


Figura 3.14. Diagrama eléctrico del relevador de estado sólido.

Los relevadores de estado sólido estarán conectados a las resistencias ubicadas en la caldera que funcionaran como elementos finales para el control de temperatura del fluido de proceso, el tipo de relevador propuesto se muestra en la figura 3.15. Consultar anexo “A” para más información.



Figura 3.15. Relevador de estado sólido.

3.3. LAZOS DE CONTROL.

El lazo de control es el conjunto de dispositivos capaces de realizar un sistema de control automático. Se compone de: un elemento sensor, un elemento de control (donde se configura punto de referencia, velocidad de respuesta, integración; derivación etc), dependiendo de lo que se quiere controlar, y un elemento final de control, incluyendo el propio proceso.

3.3.1. Control de Nivel en la Caldera.

Para realizar las pruebas se debe de contar con un nivel mínimo de agua, el cual es suministrado por el tanque de almacenamiento. Dentro de la caldera se encuentran las resistencias que calientan el agua, debido a que se presenta evaporación durante el desarrollo de las pruebas es necesario contar con un control de nivel para evitar que el nivel llegue a ser demasiado bajo y con ello evitar el que las resistencias funcionen sin agua; además de proporcionar la cantidad de flujo necesaria para poder realizar las pruebas.

En este aspecto como primer paso se acciona la válvula de nivel (LV-01) que se encuentra a la entrada de la caldera y posteriormente se acciona la bomba M1 para proceder con el llenado de la caldera. Una vez que se llega al nivel deseado en la calderase apaga la bomba y se cerra la válvula de nivel.

Durante la realización de las pruebas el transmisor de nivel envía una señal de 4 a 20 mA en el cual el programa realiza una conversión a través de un escalamiento con respecto a la señal analógica de entrada. Esta lectura es puesta en una localidad de memoria del PLC para llevarla a la interface gráfica y con ello poder visualizar en nivel del líquido en la caldera durante las pruebas. En la figura 3.16 se muestra el lazo de control.

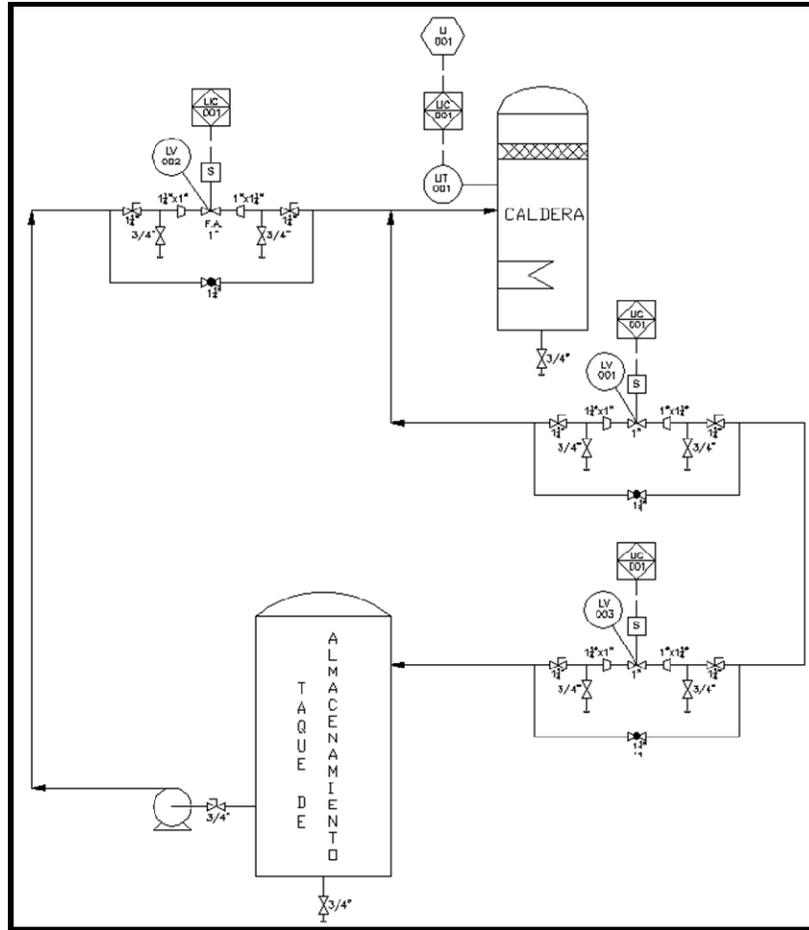


Figura 3.16. Lazo de control de Nivel de la Caldera.

3.2.2. Control de Temperatura de la Caldera.

En esta etapa se implementa la lógica y la configuración de control de temperatura para las resistencias ubicadas en la caldera. El PLC consta de 2 salidas tipo PWM, las cuales son utilizadas para actuar sobre los relevadores de estado sólido para energizar las resistencias correspondientes. En la figura 3.17 se muestra el lazo de control de temperatura.

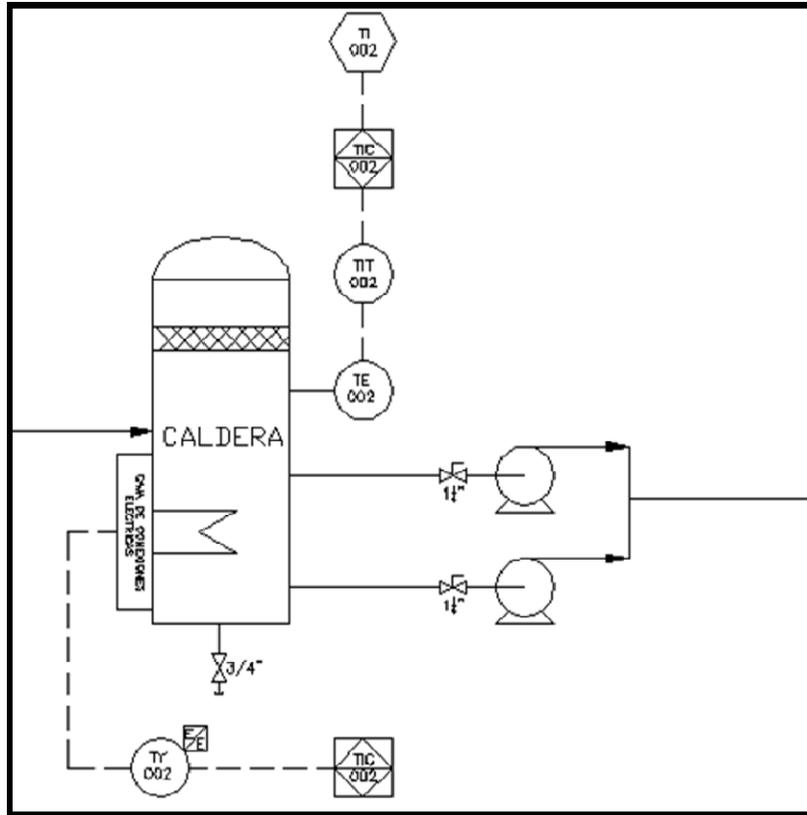


Figura 3.17. Lazo de Control de Temperatura de la Caldera.

El procedimiento para la sintonización del PID es el que se mencionó en el capítulo anterior en la sección 2.11. Para entender la lógica de funcionamiento y de acuerdo como esta en el programa de escalera se realiza lo siguiente:

1. Se escala la señal de cada transmisor de temperatura a una lectura compatible con el bloque PID.
2. Se escala la lectura del transmisor de temperatura para tener una lectura en una localidad de memoria, para que sea leída por el Panel View en grados centígrados.
3. Se configura y programa el PID. La tabla 3.2 muestra los parámetros de configuración.

Tabla 3.2. Parámetros de configuración del PID.

DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS DE AJUSTE	DIRECCIÓN	FORMATO DE DATOS	RANGO	TIPO	ACCESO AL PROGRAMA DE USUARIO
KC - Controller Gain – Kc	PD1 0:0 KC	Palabra (INT)	0 a 32,767	Control	Lectura / Escritura
TI - Resert Term - Ti	PD1 0:0 Ti	Palabra (INT)	0 a 32,767	Control	Lectura / Escritura
TD - Rate Term – Td	PD1 0:0 Td	Palabra (INT)	0 a 32,767	Control	Lectura / Escritura
TM – Time Mode	PD1 0:0 TM	Binario (Bit)	0 a 1	Control	Lectura / Escritura
AM – Automatic/Manual	PD1 0:0/AM	Binario (Bit)	-32,767 a 32,767	Control	Lectura / Escritura
SC – Setpoint Scaling	PD1 0:0/SC	Binario (Bit)	0 a 1	Control	Lectura / Escritura
EN – Enable	PD1 0:0/EN	Binario (Bit)	0 a 1	Estado	Sólo Lectura

- Se escala la salida del bloque PID para integrarla a la salida PWM.
- Se configura y se programa el bloque PWM. La tabla 3.3 muestra los parámetros de configuración.

Figura 3.3. Parámetros de configuración del PWM.

DESCRIPCIÓN DE SUBELEMENTO	DIRECCIÓN	FORMATO DE DATOS	RANGO	TIPO	ACCESO AL PROGRAMA DE USUARIO
OUT – PWM Output	PWM: 0. OUT	Palabra (INT)	2 a 3	Estado	Solo Lectura
NS – PWM Normal Operation	PWM: 0/NS	Binario (Bit)	0 a 1	Estado	Solo Lectura
EH – PWM Enable Status	PWM: 0/EH	Binario (Bit)	0 a 1	Estado	Lectura / Escritura
DC – PWM Duty Cycle	PWM: 0.DC	Palabra (INT)	1 a 1000	Control	Lectura / Escritura
ADD – Accel / Decel Delay	PWM: 0.ADD	Palabra (INT)	1 a 32,767	Control	Lectura / Escritura

- Se ligan con la interface gráfica dos botones para activar y desactivar los lazos de control de temperatura.

3.3.3. Control de Flujo del Líquido Refrigerante.

Conforme se incrementa la temperatura del líquido refrigerante se realiza una primera circulación del líquido que entra al radiador, en esta circulación la válvula de regulación (FCV-001) cuenta con una apertura del 50 % de su capacidad; lo que se consigue que la tubería vaya adquiriendo poco a poco la temperatura nominal para poder realizar las pruebas correspondientes.

Una vez que las condiciones de temperatura del líquido refrigerante están dentro del rango de los $85\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$, se procede a regular la cantidad de flujo que se maneja en el radiador que van desde 60 l/min hasta 140 l/min. Los incrementos de flujo son por medio de un control selectivo (FC-01), en el cual se introduce la cantidad de flujo deseado por el usuario. El programa contempla la conversión de la señal de transmisión a través de un escalamiento con respecto a la señal analógica de entrada. Esta lectura es puesta en una localidad de memoria del PLC para llevarla a la interface gráfica.

La señal de salida analógica utilizada es de 4-20 mA correspondiente al canal 2 del modulo de salida analógica, en donde al igual que la entrada se realiza una escalamiento de bits de control a la señal analógica de salida. Siendo los 4 mA. 0% de apertura y 20 mA para el 100% de apertura de la válvula FCV-01. De acuerdo al código generado en el programa le permite mostrar en la pantalla la cantidad de flujo del líquido refrigerante que entra al radiador así como la opción de cambiar la cantidad de dicho flujo. en la figura 3.18 se muestra el lazo de control correspondiente.

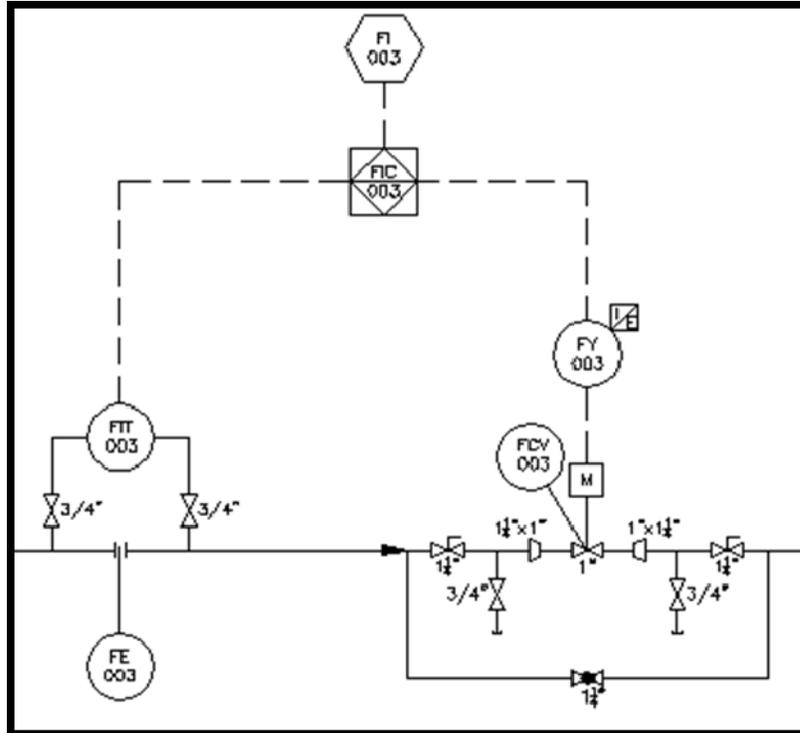


Figura 3.18. Lazo de Control de Flujo del Líquido Refrigerante.

3.3.4. Encendido de Bombas Centrífugas (M2 Y M3).

Las bombas centrífugas forman parte del circuito hidráulico, el cual proporcionan el flujo de agua caliente al radiador. Cada bomba proporciona una capacidad de flujo de 70 l/min. Por lo que la cantidad de flujo que se necesite en la prueba está en función del accionamiento de una o de las dos bombas.

El encendido se realiza desde la interface gráfica o en su defecto desde el tablero de control, el cual cuenta con su juego de botones para el arranque, paro, y paro por emergencia de cada una de las bombas centrífugas; además se cuentan con los códigos de seguridad para el arranque y paro por emergencia contemplados en la lógica de control del PLC para esto se cuenta con un modulo de salida a relevador.

3.3.5. Ajuste de Velocidad de Ventilador Centrífugo.

Una vez que las condiciones de temperatura del líquido refrigerante están dentro del rango de los $85\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$, el funcionamiento depende exclusivamente del motor principal, ya que tiene acoplado todo el mecanismo que hace que se genere una corriente de aire, simulando así el impacto del aire sobre el radiador cuando el automóvil se encuentra en movimiento. Esta etapa corresponde a la puesta en marcha del motor, por lo que incluye arranque, paro, paro de emergencia, variación de velocidad y contempla los códigos de seguridad para su arranque y paros de emergencia.

La velocidad del motor tiene mucha importancia debido a que en su mayoría predomina la variación del flujo de aire que atraviesa al radiador (velocidad de aire de 3 m/s a 7 m/s). Por tal motivo, se toma como medida en el sistema las revoluciones por minuto (rpm), el cual el motor puede trabajar hasta las 3000 rpm.

El programa contempla la conversión a través de un escalamiento con respecto a la señal analógica de salida del sensor de velocidad y la frecuencia de operación del controlador de velocidad. Esta lectura es puesta en una localidad de memoria para llevarla a la interface gráfica.

La salida analógica utilizada es de 4-20 mA correspondiente al canal 1 del módulo de salida analógicas. Cuando el motor arranca es necesario que se tenga la seguridad de que no existen fugas en el túnel de viento. Además de hacer un arranque suave para proteger al motor de una corriente excesivamente grande durante el arranque. Para el arranque del motor se tienen contemplados algunos factores de seguridad es decir, para que el motor arranque deberá cumplir con lo siguiente:

1. La temperatura del líquido debe estar a $85\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.
2. El botón de paro de emergencia no debe estar activado.

De acuerdo al código generado en el programa le permite mostrar en la pantalla cuando alguna de estas condiciones no se cumplen. Por lo que, es necesario cumplir con lo anterior para arrancar el motor. Una vez en funcionamiento se detendrá en caso de que no se cumpla con lo anterior y para volver arrancar el motor, y se deberá cumplir con las condiciones de arranque, en la figura 3.19 se muestra el lazo de control del ventilador centrífugo.

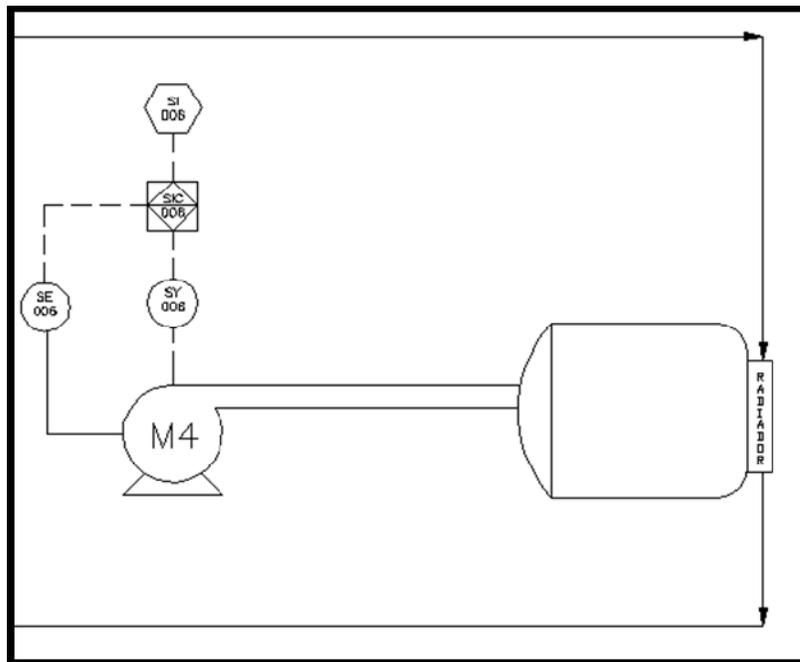


Figura 3.19. Lazo de Control de Velocidad del Ventilador Centrífugo.

3.3.6. Adquisición de Datos.

El sistema cuenta con uno de los puntos importantes dentro de la realización de las pruebas, la cual es la adquisición de datos de temperatura y presión tanto a la entrada como a la salida del radiador, como se muestra en la figura 3.20. Los instrumentos de medición utilizados (transmisores de presión y temperatura) manejan señales de 4 a 20 mA. los cuales son escaladas para poder ser manejadas por la interface grafica en unidades de ingeniería, además de ser almacenadas dentro de una hoja de calculo para proceder a los análisis correspondientes.

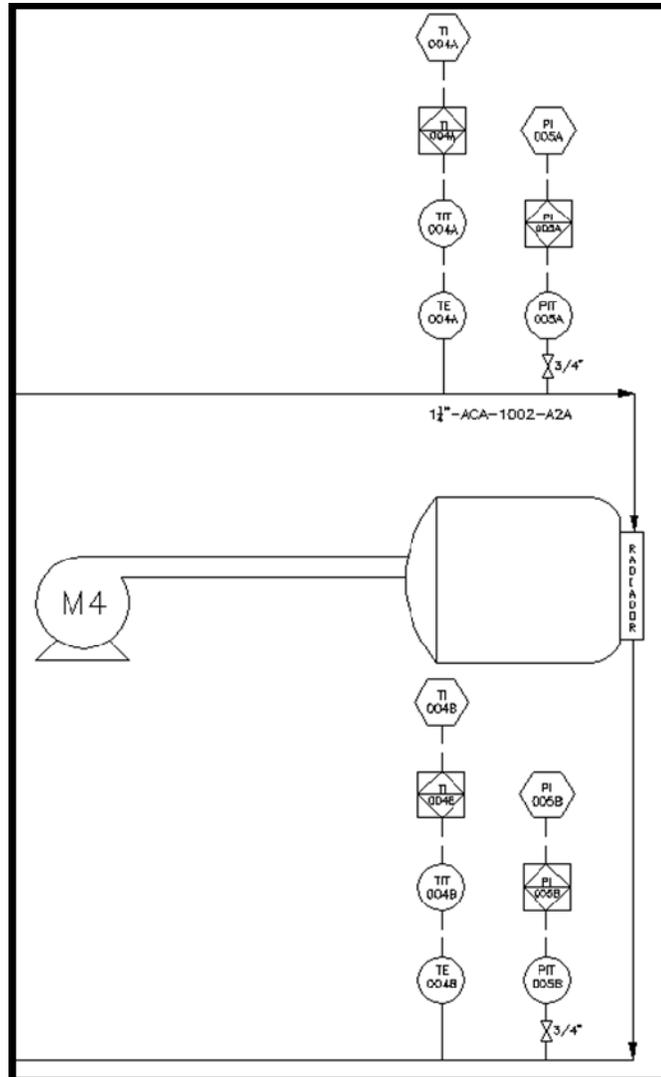


Figura 3.20. Lazo de Control para la Adquisición de Datos.

3.4. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE CONTROL.

Para operar la instalación de pruebas es necesario contar con los módulos de acondicionamiento e indicación de las señales de temperatura, flujo, presión y nivel además del control del posicionador de la válvula de flujo y del accionamiento de la bomba del flujo de proceso. Por lo que para este fin se utilizará un PLC (Controlador Lógico Programable) de la línea Allen Bradley.

El MicroLogix 1500 es una plataforma de controlador compacto completamente nueva con funciones y rendimiento de categoría mundial. Muchas de estas nuevas características permiten que este controlador compacto pueda usarse en aplicaciones donde anteriormente se requerían controladores mucho más grandes, en la figura 3.21 se muestra un ejemplo del controlador.



Figura 3.21. Controlador lógico programable MicroLogix 1500.

El MicroLogix 1500 usa el sistema Compact™ I/O, un diseño modular y sin rack, de alto rendimiento que proporciona acceso frontal, desinstalación e inserción para un bajo costo del sistema y menor inventario de piezas. El sistema MicroLogix 1500 también utiliza el software de programación RSLogix 500™ de Rockwell Software y cuenta con un conjunto de instrucciones común para las familias de controladores MicroLogix 1000, MicroLogix 1200 y SLC. Un sistema operativo Flash facilita la actualización de los sistemas operativos sin tener que reemplazar el hardware.

La portabilidad de programas permite cargar, descargar y transportar los programas del usuario mediante módulos de memoria. Las capacidades de reloj en tiempo real (RTC) permiten las tareas de control basados en fecha/hora. El MicroLogix 1500 proporcionan E/S discretas incorporadas en el controlador, según lo indicado en la tabla 3.4. Estos puntos de E/S se conocen como E/S incorporadas.

Tabla 3.4. Controladores de la familia MicroLogix.

FAMILIA DE CONTROLADORES		ENTRADA		SALIDA	
		CANTIDAD	TIPO	CANTIDAD	TIPO
Controladores MicroLogix 1200	1762 – L24BWA	14	24 VCC	10	Relé
	1762 – L24AWA	14	120 VCA	10	Relé
	1762 – L24BXB	14	24VCC	10	5 Relé 5 FET
	1762 – L40BWA	24	24 VCC	16	Relé
	1762 – L40AWA	24	120 VCA	16	Relé
	1762 – L40BXB	24	24 VCC	16	8 Relé 8 FET
Bases MicroLogix 1500	1764 – 24BWA	12	24 VCC	12	Relé
	1764 – 24AWA	12	120 VCA	12	Relé
	1764 – 24Bxb	16	24 VCC	12	6 Relé 6 FET

Los modelos 1764-28BXB tienen dos salidas de alta velocidad para usar como salida de tren de pulsos (PTO) y/o salida de modulación de anchura de pulsos (PWM).

Los modelos 1762-L24BXB y el 1762-L40BXB tienen una salida de alta velocidad. Si la aplicación requiere más E/S que las que el controlador proporciona, el controlador se puede conectar con otros módulos de E/S. Estos módulos adicionales se denominan E/S de expansión.

3.4.1. Lista de Entradas y Salidas.

A continuación en la tabla 3.5 se muestra el listado de las señales de entrada de los instrumentos de medición y las salidas hacia los elementos finales de control que manejará el PLC:

Tabla 3.5. Entradas y salidas al controlador.

DE	UBICACIÓN	A	UBICACIÓN	SEÑAL	RANGO	ALIMENTACIÓN
PIT-001	Campo	PLC-001	Gabinete	IA	4-20 mA C.D	24 V C.D.
PIT-002	Campo	PLC-001	Gabinete	IA	4-20 mA C.D	24 V C.D.
TIT-001	Campo	PLC-001	Gabinete	IA	4-20 mA C.D	24 V C.D.
TIT-002	Campo	PLC-001	Gabinete	IA	4-20 mA C.D	24 V C.D.
TIT-003	Campo	PLC-001	Gabinete	IA	4-20 mA C.D	24 V C.D.
FIT-001	Campo	PLC-001	Gabinete	IA	4-20 mA C.D	24 V C.D.
LIT-001	Campo	PLC-001	Gabinete	IA	4-20 mA C.D	24 V C.D.
ENCODER	Campo	PLC-001	Gabinete	IA	4-20 mA C.D	24 V C.D.
PLC-001	Gabinete	FVC-001	Campo	OA	4-20 mA C.D	24 V C.D.
PLC-001	Gabinete	M1	Campo	OD	127 V CA	24 V C.D.
PLC-001	Gabinete	M2	Campo	OD	127 V CA	24 V C.D.
PLC-001	Gabinete	M3	Campo	OD	127 V CA	24 V C.D.
PLC-001	Gabinete	LV-01	Campo	OD	24 V CA	24 V C.D.
PLC-001	Gabinete	LV-02	Campo	OD	24 V CA	24 V C.D.
PLC-001	Gabinete	LV-03	Campo	OD	24 V CA	24 V C.D.

En la configuración del sistema se muestra un diagrama de arreglo. En realidad, es un diagrama pictórico de los elementos de hardware definidos en el resumen del sistema. Esta muestra la ubicación, conexiones y detalles mínimos de los principales componentes del hardware, CPU, periféricos, interfaces gráficas, etc.

La configuración del sistema no solo indica la ubicación física de los componentes, tal como se muestra en la figura 3.32.

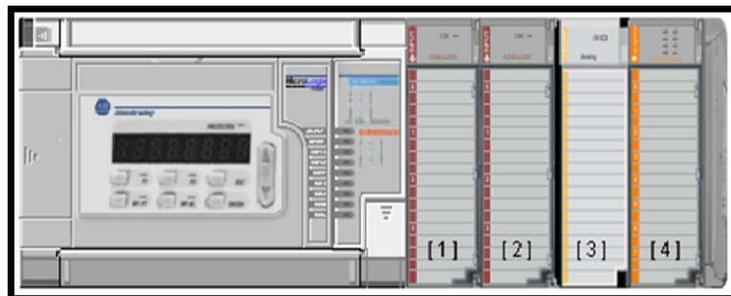


Figura 3.22. Configuración del PLC.

Con la relación de señales mencionadas anteriormente se procede a elegir los módulos necesarios para el manejo de dichas señales, a continuación se describen de manera breve las características principales de los modulos como se muestra en la figura 3.32, cuya ubicación es:

- En el slot 1 y 2: Módulo de entradas analógicas, se observa en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Modulo de entradas analógicas.

Especificación	1769-IF4I
Rango de operación	Voltaje: $\pm 10V$ dc, 0...10V dc, 0...5V dc, 1...5V dc Corriente: 0...20 mA, 4...20 mA
Rango de escala completa	Voltaje: $\pm 10.5V$ dc, 0...10.5V dc, 0...5.25V dc, 0.5...5.25V dc Corriente: 0...21 mA, 3.2...21 mA
Numero de entradas	4 entradas aisladas
Resolución	16 bits
Tipo de convertidor	Delta sigma
Impedancia de entradas	Voltaje: Terminal: 1 M Ω (typical) Corriente: Terminal: 249 Ω

- En el slot 3: Módulo de salidas analógicas, se observa en la tabla 3.7.

Tabla. 3.7. Modulo de salidas analógicas.

Especificación	1769-OF4I
Rango de operación	Corriente: 0...20 mA, 4...20 mA
Rango de escala completa	Corriente: 0...21 mA, 3.2...21 mA
Numero de entradas	4 salidas aisladas
Resolución	16 bits
Tipo de convertidor	Delta sigma
Impedancia de salida	Carga resistiva: 0 a 500 Ω Carga inductiva: 0.1 mH

- En el slot 4: Módulo de salidas digitales, se observa en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Modulo de salidas digitales.

Especificación	1769-OA8
Categoría de voltage	120/220 V CA
Margen de tension Funcionamiento	85 VCA hasta 265 VCA a 47 a 63 Hz
Numero de salidas	8
Retardo de señal (máx.) – carga resistive	conexión = 1/2 ciclo desconexión = 1/2 ciclo

3.4.2. Red del Sistema de Control.

Los procesadores Micrologix poseen un puerto serial, el cual es configurable para que sea compatible con la comunicación RS-232. Este puerto serial sirve para: conectarse a una red con dispositivos que se comunican utilizando el protocolo DF1, como por ejemplo módems, módulos de comunicación, estaciones de trabajo para programación, o otros dispositivos asociados; también permite la comunicación mediante protocolo RS-485, enviar y recibir caracteres ASCII para dispositivos que utilizan este protocolo tal como terminales ASCII, lectores de barras, e impresoras.

El controlador involucra una red de comunicación con otros componentes, la configuración del sistema se muestra en la figura 3.23, el cual es un diagrama de la red completa (todos los nodos) y los principales componentes conectados a ella, cuya comunicación entre los dispositivos es de tipo serial RS-232 con protocolo DF1 Full Duplex.

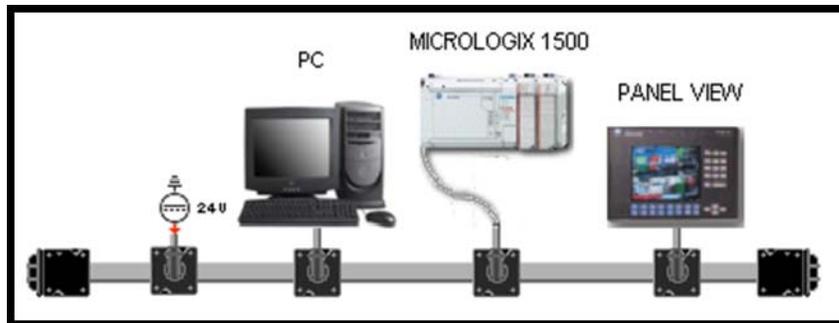


Figura 3.23. Diagrama de la red del sistema de control.

3.4.3. Comunicación Serial RS-232.

La comunicación serial es un protocolo muy común (no hay que confundirlo con el Bus Serial de Comunicación, o USB) para comunicación entre dispositivos que se incluye de manera estándar en prácticamente cualquier computadora.

El concepto de comunicación serial es sencillo. El puerto serial envía y recibe bytes de información un bit a la vez. Aun y cuando esto es más lento que la comunicación en paralelo, que permite la transmisión de un byte completo por vez, este método de comunicación es más sencillo y puede alcanzar mayores distancias.

Por ejemplo, la especificación IEEE 488 para la comunicación en paralelo determina que el largo del cable para el equipo no puede ser mayor a 20 metros, con no más de 2 metros entre cualesquier dos dispositivos; por el otro lado, utilizando comunicación serial el largo del cable puede llegar a los 1200 metros.

Típicamente, la comunicación serial se utiliza para transmitir datos en formato ASCII. Para realizar la comunicación se utilizan 3 líneas de transmisión: (1) Tierra (o referencia), (2) Transmitir, (3) Recibir. Las características más importantes de la comunicación serial son la velocidad de transmisión, los bits de datos, los bits de parada, y la paridad. Para que dos puertos se puedan comunicar, es necesario que las características sean iguales.

3.4.4. Dispositivo de Interface (Panelview).

Los dispositivos de la familia PanelView son terminales visuales de interface con el operador que se utilizan en aplicaciones en las que se necesita monitorear, controlar y desplegar información de un proceso o máquina de forma gráfica, permitiendo al operador comprender rápidamente el estado en el que se encuentra la aplicación o proceso. En vista de esto, los dispositivos PanelView son utilizados en la implementación de HMIs.

La configuración de los terminales PanelView y el desarrollo de sus pantallas de interfase para cada aplicación, son desarrollados mediante el software de programación RSVIEW Studio para ser descargadas hacia el terminal PanelView, se muestra en la figura 3.24.



Figura 3.24. Dispositivo de Interface Gráfica (PanelView).

El RSVIEW Studio proporciona herramientas estándar, objetos, gráficos, bitmaps y edición de tags para configurar las pantallas de presentación del HMI y permitir el diálogo con el dispositivo controlador Micrologix 1500 que se esté utilizando. De igual manera como sucede con los controladores Micrologix, se debe utilizar el software RSLinx para permitir la comunicación entre el PanelView y el RSVIEW Studio.

3.5 . DESARROLLO DE INTERFACE.

La operación del sistema de control, se basa en la manipulación de las pantallas de un Panel View, que ésta es la que permite tener la interacción con el equipo de la instalación se cuentan con 5 pantallas las cuales son:

1. La pantalla Principal.
2. La pantalla para el control de temperatura en la caldera.
3. La pantalla para el control de flujo.
4. La pantalla para el control de nivel en la caldera.
5. La pantalla para el control de velocidad del ventilador.
6. La pantalla para Adquisición de Datos.

3.5.1. Pantalla Principal.

La pantalla principal se muestra en la figura 3.25 en la que se pueden visualizar, las variables más importantes del proceso como son: la temperatura en la caldera, la velocidad del ventilador, el nivel del líquido en la caldera así como el flujo que se maneja en el radiador. También cuenta con los botones para interactuar o cambiar de pantallas.



Figura 3.25. Pantalla Principal del equipo de pruebas a radiadores.

Por ser la pantalla principal, se tienen los botones que despliegan cada una de las pantallas. Mediante estos botones y siguiendo el procedimiento correspondiente se puede operar el equipo de forma manual o automática. Los pasos a seguir para el arranque y paro del equipo son los siguientes.

1. Antes de arrancar el equipo éste deberá estar encendido y el panel view deberá mostrar la pantalla principal (figura 3.25). En caso de que este mostrando otra pantalla oprima el botón principal.

2. Se deberán tener las condiciones iniciales, para la temperatura y flujo de agua así como para la velocidad del aire. Básicamente consiste en tener el agua a la temperatura requerida (80 a 85 °C) y el flujo con la que se podrá realizar la circulación a través del radiador.
3. Una vez cumpliendo con lo anterior se prosigue a fijar el flujo requerido para realizar las pruebas.
4. Ya establecido el flujo de operación se procede a fijar la velocidad de flujo de aire que se maneja durante las pruebas.
5. Para detener el desarrollo de las pruebas en cada pantalla cuenta con un botón de paro el cual solo basta con oprimirlo.
6. También por cuestiones de seguridad el equipo se detendrá si por alguna razón se retira alguna de las guardas o se oprime el botón de paro de emergencia.
7. Para volverla arrancar se tiene que cumplir con los puntos antes mencionados.

3.5.2. Pantalla para Control de Nivel.

Antes de comenzar con el control de flujo y de temperatura, es necesario que la caldera cuente con el suficiente nivel de líquido para poder realizar las pruebas. En la pantalla se muestra la lectura del nivel de la caldera, a demás de un botón para activar los lazos de control, tal como se muestra en la figura 3.26.

El ajuste de esta pantalla es independiente a la operación del equipo, pero es necesario que se configure antes de que se inicien las pruebas, por que es indispensable que el agua en la caldera esté a un nivel requerida. Esta pantalla permite ajustar a un nivel deseado. El procedimiento es el siguiente:

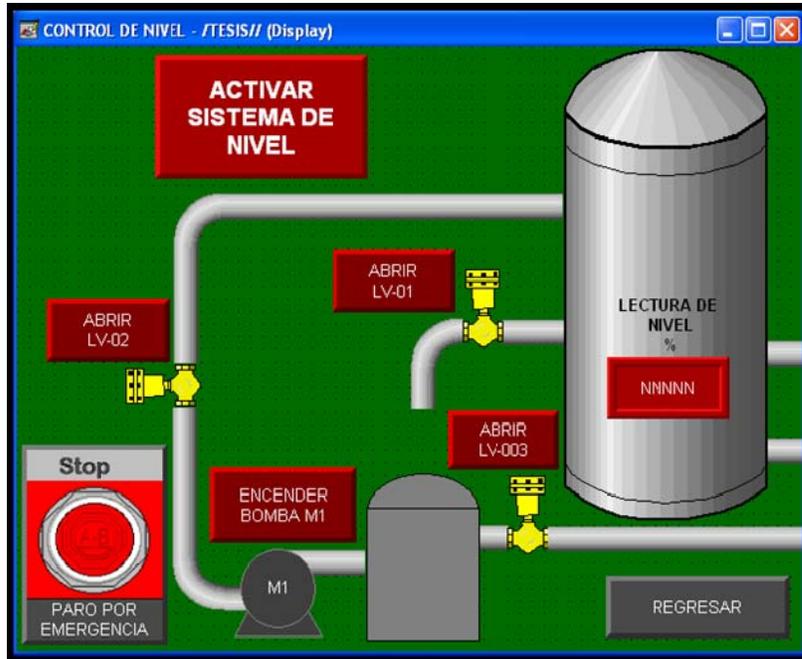


Figura 3.26. Pantalla para control de nivel.

1. Visualizar la pantalla de control de nivel.
2. Oprimir el botón de activación del sistema de nivel, en el cual desplegará un display numérico donde se escribirá el nivel requerido. El valor deberá mostrarse en cuadro adjunto si no es así vuelva a cargar el valor.
3. Repita el paso 2 hasta capturar el nivel deseado.
4. Oprima el botón para abrir la válvula solenoide LV-02, una vez que la válvula esta totalmente abierta se procede a encender la bomba M1 para comenzar con el llenado de la caldera al nivel indicado.
5. Si ve que la lectura de nivel oscila en valores muy dispersos necesita revisar el sensor correspondiente, ya que puede originar un mal funcionamiento del lazo de control.

- Una vez que se ha llegado al nivel deseado se para la bomba y se procede a cerrar inmediatamente la válvula LV-02, y abrir la válvula LV-01 para que el flujo que viene de la salida del radiador entre de nuevo a la caldera.
- Cuando se ha terminado de realizar las pruebas, la válvula LV-01 se cierra, y se abre la válvula LV-03 que va hacia el tanque de almacenamiento hasta que la caldera queda totalmente vacía y con las resistencias, por lo que cuando se encienda nuevamente se tiene que repetir procedimiento.

3.5.3. Pantalla para el Control de Temperatura.

La pantalla para ajustar la temperatura y activar los lazos de control se muestra en la figura 3.27. El ajuste de esta pantalla es depende de la operación de las pantallas del equipo, para lo que es necesario que se configure antes de que se inicien las pruebas, por que es indispensable que el agua esté a la temperatura requerida.

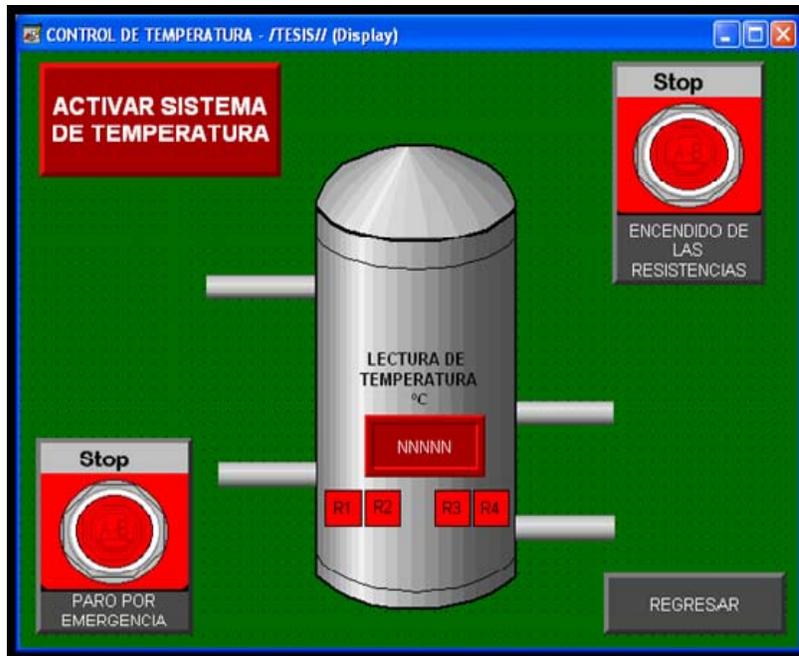


Figura 3.27. Pantalla para ajuste del lazo de temperatura.

El algoritmo de control ya está programado y configurado en el PLC, por lo que solo hay que cargar el valor de referencia de la temperatura deseada. El procedimiento es el siguiente:

1. Visualizar la pantalla de temperatura.
2. Oprimir el botón de activación del sistema de temperatura, en el cual desplegará un display numérico donde se escribirá la temperatura deseada. El valor deberá mostrarse en cuadro adjunto si no es así vuelva a cargar el valor.
3. Repita el paso 2 hasta medir la temperatura deseada.
4. Oprima el botón de encendido de las resistencias y los indicadores de estado parpadearán de verde a amarillo indicando que las resistencias de la caldera están habilitadas y por lo tanto se calentará el agua a la temperatura indicada.
5. Si ve que la lectura de alguna de las temperaturas oscila en valores muy dispersos necesita revisar el sensor correspondiente, ya que puede originar un mal funcionamiento del lazo de control.
6. En caso de que quiera deshabilitar los lazos de temperatura oprima el botón Desactivar sistema de calentamiento. También puede cambiar las referencias a valores más pequeños.
7. Cuando se apagan las resistencias los lazos de control se deshabilitan, por lo que cuando se encienda nuevamente se tiene que repetir procedimiento.

3.5.4. Pantalla para Control de Flujo.

El ajuste de flujo de agua consiste en la cantidad de agua que entra al radiador según el procedimiento de pruebas. En la figura 3.28, se muestra la pantalla, en la que se tiene un ajuste manual del flujo requerido para realizar las pruebas cuando la temperatura del agua que se encuentra en la caldera está estable.

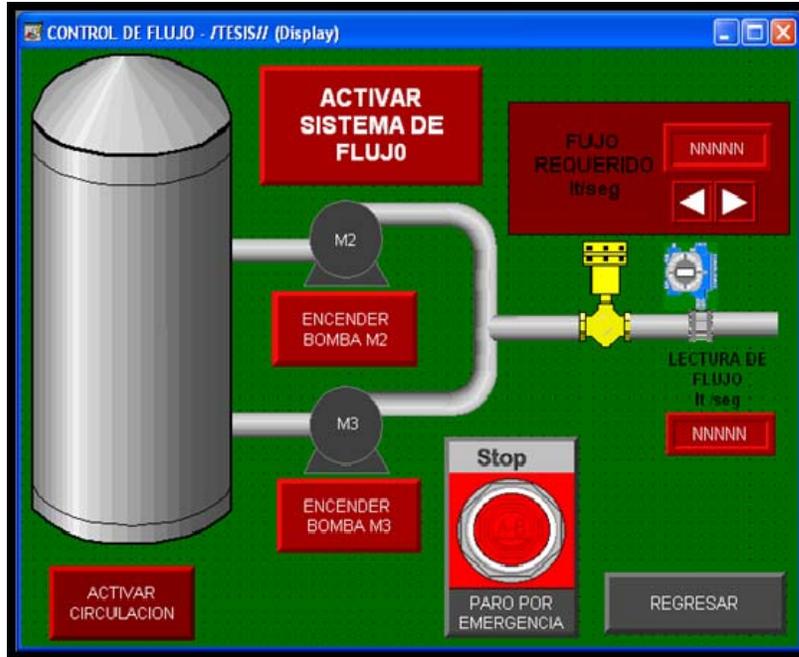


Figura 3.28. Pantalla para control de Flujo.

Antes de comenzar con el control de flujo es necesario que la temperatura del agua sea la correcta, que la válvula esté abierta al 50 % para proceder con el encendido de una o de las dos bombas localizadas en la caldera que hacen circular el agua a través de la tubería para que se mantengan a cierta temperatura con lo que se asegura de que no existan pérdidas de temperatura, y no sufra algún daño la tubería; este paso se logra presionando el boton de activar circulación dentro de la pantalla.

Para variar el flujo que entra al radiador se tiene un botón de incremento o decremento (flechas hacia arriba o hacia abajo respectivamente), en un display se refleja el valor de la lectura del transmisor de flujo; el programa en el PLC esta diseñado para no permitir sobrepasar los límites superior e inferior de flujo, lo que permite trabajar las bombas y la válvula reguladora de flujo con seguridad.

3.5.5. Pantalla para ajuste de Velocidad del Ventilador.

Como se había mencionado el flujo de aire que pasa a través del radiador depende de la velocidad del motor principal. Para ajustar dicha velocidad es necesario ir a la pantalla donde se tiene el botón de activar el sistema de velocidad, para poder realizar los ajustes es necesario oprimir el botón de velocidad requerida que se encuentra en la pantalla principal del Panel View.

Ésta pantalla se puede observar en la figura 3.29, y contiene el ajuste de velocidad del motor en rpm según la prueba a realizar. Para variar la velocidad es necesario oprimir el botón de incremento o decremento (flechas hacia arriba o hacia abajo respectivamente) y en el display se refleja el valor de la lectura de medidor. Para cambios mayores se puede oprimir el botón de cambios de referencia y aparece un teclado numérico donde se puede capturar la velocidad deseada según los límites permitidos. Además se cuentan con botones de arranque y paro para el encendido del motor, así como un botón de paro por emergencia.

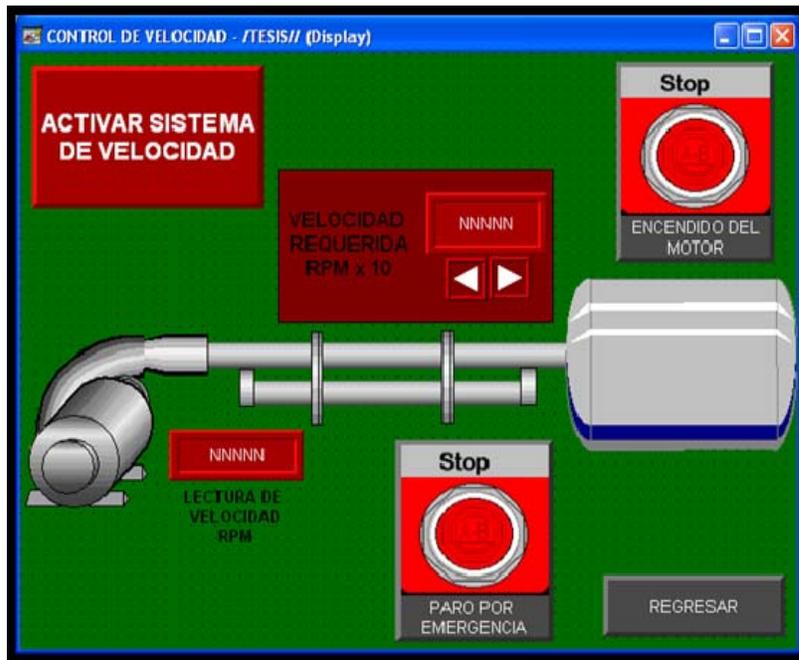


Figura 3.29. Pantalla para el ajuste de velocidad.

3.5.6. Pantalla de Adquisición de Datos.

Como última visualización se tiene la pantalla de adquisición de datos. En esta pantalla se visualizan los valores de temperatura y nivel de líquido en la caldera, temperatura y presión a la entrada y salida del radiador, también el flujo que se esta manejando durante las pruebas.

Lo más importante en esta parte es que la toma de mediciones se realiza a partir del diseño de un sistema exclusivamente dedicado a la captura y almacenamiento de datos de temperatura y presión principalmente para el posterior análisis térmico a los radiadores. Esta pantalla se muestra en la figura 3.30.



Figura 3.30. Pantalla de Adquisición de Datos.

CAPÍTULO	4
COSTO DEL PROYECTO	

Un proyecto es la búsqueda de una solución al planteamiento de un problema. Un proyecto es un plan de inversión que si se asigna determinado monto de capital y se le proporcionan insumos de varios tipos, podrá producir un bien o un servicio, útil al ser humano o a la sociedad en general.

La evaluación de un proyecto de inversión tiene por objeto conocer su rentabilidad económica y social, de tal manera que asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable.

La toma de decisiones acerca de invertir en determinado proyecto no debe recaer en una sola persona ni en el análisis de datos parciales, sino en grupos multidisciplinarios que cuenten con la mayor cantidad de información posible. A toda la actividad encaminada a tomar una decisión de inversión sobre un proyecto se le llama evaluación de proyectos.

La parte de análisis económico pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, cuál será el costo total de la operación del proyecto y su rentabilidad, es decir en cuanto tiempo aproximadamente se recupera la inversión.

Para realizar el análisis es preciso cotizar los precios de todos los componentes que se utilizarán en el desarrollo de la actualización de la instalación. La cotización se realizara de la forma mas precisa posible.

Es importante aclarar que esta cotización es una estimación ya que algunos componentes como son los de equipos de medición, equipos de control y el acero de la tubería se cotizan en dólares y euros respectivamente; lo cual provoca que la cotización de este proyecto cambie de un día a otro según sea el tipo de cambio.

Tabla 4.1. Cotización del equipo de control.

Qty	Catalog #	Descripción	Precio Unitario	Precio
1	DESKTOP PC	Desktop PC	\$980.00	\$980.00
1	1784-PCID	Netl PCI Interface Card	\$1,168.00	\$1,168.00
1	1764-DAT	Access tool date MicroLogix 1500	\$131.50	\$131.50
1	1764-LSP	MicroLogix 1500 Processor - 7K Base Memory	\$530.40	\$530.40
1	1761-NET-DNI	MicroLogix & CompactLogix Net RS232 Interface	\$350.00	\$350.00
1	1769-ECR	Right End Cap Terminator	\$34.00	\$34.00
1	1764-28BXB	MicroLogix 1500 Base Unit - 16 Input, 12 Output 24 VDC, 24 VDC Power Supply	\$620.50	\$620.50
2	1769-IF4I	4 Channel Analog Current/Voltage Isolated Input Module	\$754.00	\$1,508.00
1	1769-OF4CI	4 Channel Analog Current Isolated Output Module	\$922.50	\$922.50
1	1769-OA8	8 Point 120/240 VAC Output Module	\$244.50	\$244.50
2	1485A-T1E4	IDC - NEMA 6P and 13, IP67 Terminator with base	\$37.30	\$74.60
2	1485P-P1E4-R5	IDC - NEMA 6P, 13; IP67 Micro module w/base	\$55.50	\$111.00
2	1485K-P1F5-C	KwikLink Drop Cable - Right Angle Micro-male to Conductor (1 m)	\$35.00	\$70.00
1	1485T-P1E4-B1	Pigtail - NEMA 6P, 13; IP67 w/drop 1m Conductor	\$90.00	\$90.00
1	1485C-P1E75	KwikLink cable - Class 1 (75m)	\$449.00	\$449.00
1	1606-XLDNET4	Network Power Supply - 91W, 24V DC, 3.8A	\$289.00	\$289.00
			Subtotal:	\$7,573.00
			I.V.A 15 %:	\$1,135.95
			Grand Total:	\$8,708.95
	NOTA:	PRECIOS EN U.S.D.		

Tabla 4.2. Cotización de los elementos primarios de medición.

Qty	Catalog #	Descripción	Precio Unitario	Precio
2	PTP-31	Transmisor indicador de Presión	\$323.79	\$647.58
3	TTR-35	Sensor y electrónica de alta precisión de temperatura	\$150.12	\$450.36
3	TTR-35	Transmisor indicador de Temperatura	\$441.54	\$1,324.62
1	DO61W	Transmisor de Flujo 2"	\$730.40	\$730.40
1	FMI-51	Transmisor Indicador de Nivel	\$603.43	\$603.43
1		Sensor de velocidad		\$0.00
			Subtotal:	\$3,756.39
			Total:	\$563.46
			Grand Total:	\$4,319.85
	NOTA:	PRECIOS EN U.S.D.		

Tabla 4.3. Cotización de los elementos finales de control.

Qty	Catalog #	Descripción	Precio Unitario	Precio
1	VA-1020 BAUMANN	Válvula reguladora tipo Mariposa de 2 vías, diámetro nominal de 2"	\$650.70	\$650.70
3	ASCO	Válvula de Mariposa ON-OFF de 2 vías, diámetro nominal de 2"	\$123.50	\$370.50
3	700SH40GA12	Relevadores de estado sólido	\$39.40	\$118.20
			Subtotal:	\$1,139.4
			Total:	\$170.91
			Grand Total:	\$1,310.31
	NOTA:	PRECIOS EN U.S.D.		

Tabla 4.4. Cotización del software de programación.

Qty	Catalog #	Descripción	Precio Unitario	Precio
1	1764- START1500E	Micro-Logix DF1 TOP Server (OPC/ FastDDE/SuiteLink/AdvancedDDE)	\$751.28	\$751.28
1	9701- VWMR015A ENE	FactoryTalk View ME Station Runtime 15 Displays - Windows 2000/XP	\$1,512.00	\$1,512.00
			Subtotal:	\$2,263.28
			Total:	\$339.5
			Grand Total:	\$2,602.78
	NOTA:	PRECIOS EN U.S.D.		

Al costo de los materiales de la instalación es necesario el costo de diseño, el cual es el cálculo tomando en cuenta un costo por hora de \$20 y tomando un aproximado en 280 horas de trabajo, lo que da un resultado de \$6880.00.

Tabla 4.5. Cotización del material.

Qty	Catalog #	Descripción	Precio Unitario	Precio
15 m	1764	Tubería cedula 40 y accesorios	\$90	\$1350.00
100	1492-L6	Clemas de conexión	\$1	\$100.00
			Subtotal:	\$1,450.00
			Total:	\$217.5
			Grand Total:	\$1,667.5
	NOTA:	PRECIOS EN U.S.D.		

Otro aspecto importante es de la mano de obra, ya que los salarios del personal son considerando la zona económica y algunos conceptos deberán ser desarrollados por personal calificado (ingenieros y técnicos).

Tabla 4.6. Cotización de hrs-hombre.

Descripción	Hrs.	Precio/hrs	Precio
Instalación de la tubería	NA	NA	\$350
Instalación de la instrumentación	NA	NA	\$1000
Instalación de válvula reguladora	NA	NA	\$200
Instalación de válvulas solenoides	NA	NA	\$150
Instalación de relevadores de estado sólido	NA	NA	\$150
Diseño de lazos de control	16	\$20	\$320
Cableado	16	\$10	\$160
Programación PLC	72	\$20	\$1440
Programación HMI	72	\$20	\$1440
Instalación del PLC	8	\$20	\$1600
Instalación del Panel View	8	\$20	\$1600
Horas de puesta en marcha	16	\$20	\$320
		Grand Total:	\$8,730.00
NOTA: PRECIOS EN U.S.D.			

Tabla 4.7. Costo total del proyecto.

Descripción	Precio
EQUIPO DE CONTROL.	\$8,708.95
ELEMENTOS PRIMARIOS DE MEDICIÓN	\$4,319.85
ELEMENTOS FINALES DE CONTROL.	\$1,310.31
SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN.	\$2,602.78
MATERIAL.	\$1,667.5
HRS-HOMBRE.	\$8,730.00
TOTAL U.S.D.	\$27,339.39

La suma del costo de los materiales para actualizar la instalación más el gasto de instalación y diseño da un costo total de \$27,339.39 USD.

Sin embargo, el costo de la actualización es recuperada con la realización de un mayor número de pruebas, es decir, con un costo de servicio de \$1,000 USD por prueba y si se realizan de 2 a 3 pruebas al mes, el monto total invertido se verá recuperado en un periodo de 8 a 10 meses aproximadamente.

Por lo tanto con la inversión que se realizará se podrá desarrollar un proyecto que dará resultados útiles y benéficos para el LABINTHAP, lo que permite dar más seguridad al correcto funcionamiento de la instalación, la cual es el fundamento para que el laboratorio pueda cumplir con el desarrollo de las pruebas a radiadores, y además permite detectar anomalías en el desempeño dando tiempo para tomar decisiones oportunas para la solución de los problemas tanto para el personal de operación como de mantenimiento.

CONCLUSIONES

En este trabajo de tesis se desarrolló la propuesta de la automatización de una instalación experimental para probar térmicamente radiadores automotrices.

La instrumentación propuesta desempeña un papel importante en la instalación, estos nuevos instrumentos mejoraran las mediciones de temperatura, flujo y presión los cuales son datos primordiales para las pruebas y el análisis térmico que se realizan a los radiadores.

A partir de la metodología empleada en el desarrollo de las pruebas, se desarrolló la lógica de control para la temperatura del agua en la caldera, el flujo de agua a la cual se realizará las pruebas; que serán programados en el PLC (Controlador Lógico Programable) propuesto. La propuesta de la interface hombre-maquina ofrecerá al usuario el monitoreo del desarrollo de las pruebas, con ello se logrará realizar con menos errores las adquisición de datos de temperatura y presión en el radiador.

El equipo de control que se empleará cuenta con la tecnología de punta y con la capacidad de incorporar más elementos de algún otro proceso o la opción de incorporarse a un sistema de control de mayor capacidad, ofreciendo flexibilidad de manejo y operación.

En un plazo corto el desarrollo de este trabajo puede servir como base para emprender la certificación de la instalación ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), con lo que se podría brindar servicio de validar térmicamente los radiadores o intercambiadores de calor compactos a la industria en general con un reconocimiento oficial.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABUGABER FRANCIS**, Juan, *Desarrollo y validación de una Metodología para caracterizar Termicamente Radiadores Automotrices*, Tesis de Maestria con especialidad en Ingeniería Mecánica, IPN, México DF, 2003.
2. **CREUS**, Antonio Sole, *Instrumentación Industrial*, 7^a edición, Alfaomega Marcombo, Barcelona España 2006.
3. **OGATA**, Katsuhiko, *Ingeniería de Control Moderna*, 4^{da} edición, Prentice Hall, España 2003.
4. **KUO**, Benjamin C., *Sistemas de Control Automatico*, 2^{da} edición, Prentice Hall, Illinois, Estado Unidos.
5. **LEWIS**, Paul, **YANG**, Chang, *Sistemas de Control en Ingeniería*, 1^a edición, Prentice Hall, 1999.
6. **MARLIN**, *Process Control Designing Processes and Control Systems for Dynamic Performance*, 2da edición, Editorial Mc Graw Hill, 2000.
7. **SMITH**, Carlos A., Armando B. Corripio, *Control Automático de Procesos*, 1^a edición, Noriega Editores, México D.F. 1991.
8. **VARGAS RUIZ**, Lucia Sarai, **VELAZQUEZ LOZADA**, Nahum, *Modelado, simulación y validación del comportamiento de un Intercambiador de calor aplicado en un control Proporcional Integral Derivativo*, Tesis de Licenciatura, IPN, México DF, 2006.
9. **Catalos de instrumentación** www.endress.com
10. **Cotización de equipo de control** www.plccenter.com
11. **Pagina de internet** www.rockwellautomation.com

A) ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS PRIMARIOS PROPUESTOS

NIVEL.

Technical Information

Liquicap M FMI51, FMI52

Capacitive Level Measurement

For continuous measurement in liquids



Application

The Liquicap M compact transmitter is used for the continuous level measurement of liquids.

Thanks to its robust and tried-and-tested construction (self-sealing cone), the probe can be used both in vacuums and in overpressure up to 100 bar. The sealing and insulation materials used allow operating temperatures of $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the medium container.

The measurement is independent of the dielectric constant (DK) as of a liquid conductivity of $100\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$. In this way, various liquids can be measured without the need for recalibration.

Used in conjunction with Fieldgate (remote measured value interrogation using Internet technology), Liquicap M provides an ideal solution for inventorying materials and optimizing logistics (inventory control).

Your benefits

- No calibration necessary for media with a conductivity of $100\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ and higher. The probes are calibrated to the ordered probe length on leaving the factory (0 % to 100 %). This makes easy and fast commissioning possible.
- Menu-guided local configuration via plain text display (optional)
- Universal application thanks to wide range of certificates and approvals
- Use also in safety systems requiring functional safety to SIL2 in accordance with IEC 61508
- Material in contact with the process made of corrosion-resistant material and FDA-listed materials for wetted parts
- Two-stage overvoltage protection against discharge from the container (gas discharger + protective diodes)
- Electronics can be switched for media forming buildup
- Short measured value reaction time
- No need for recalibration after replacing electronics
- Automatic monitoring of electronics
- Monitors damage to insulation and rod breaking or rope tearing
- Suitable for interface measurement

TEMPERATURA.

Technical Information

Temperature Switch

Thermophant® T TTR31, TTR35

Temperature switch for the safe measurement, monitoring and control of process temperatures



Application

Temperature switch for the monitoring, display and control of process temperatures in a range from -50 to 200 °C (-58 to 392 °F);

Thermophant® T TTR31

– with thread connections or coupling

Thermophant® T TTR35

– for hygienic applications

- Versions for use in hygienic applications
- Electronic versions
 - one PNP switch output
 - two PNP switch outputs
 - 2 x PNP switch outputs or one PNP switch output and 4 to 20 mA output (active)

Benefits at a glance

This compact temperature switch impresses with the latest in technology being used:

- Integrated switching electronics for decentral and economic process monitoring and control
- Quick and flexible process connection thanks to modular connections
- High reproducibility and long-term stability
- Function check and information onsite thanks to LEDs and digital display
- Long-term stable temperature sensor made of platinum (Pt100 class A as per IEC 60751)
- High accuracy across the entire ambient temperature range and short response time
- Operation and visualization also with PC and ReadWin® 2000 configuration software
- Upper part of housing can be rotated by 310°
- DESINA-compliant
- 3-A approved



FLUJO.

Deltatop

DO61W, DO62C, DO63C, DO64P, DO65F

Differential pressure flow measurement with orifices
and Deltabar differential pressure transmitter

The universal measuring system for steam, gases and liquids



Application

- Flow measurement of gases, steam and liquids
- nominal diameters from DN 10 (3/8") to DN 1000 (40")
- medium temperatures -200 °C (-328 °F) to 1000 °C (1830 °F)
- pressure up to 420 bar (6300 psi)
- Compliant to DGRL 97/23/EC
- NACE compliant materials

Deltabar differential pressure transmitter

- Approvals for hazardous area: ATEX, FM, CSA
- Relevant safety aspects: SIL
- Connection to all common process control systems: Profibus, HART, Foundation Fieldbus

Your benefits

- selectable according to the application:
 - operational compact version: minimizes installation costs
 - modular remote version: for demanding process conditions (high temperature, high pressure) and difficult installation conditions
- optimized for minimum pressure loss, highest accuracy and maximum measuring dynamics
- Measuring range of the Deltabar differential pressure transmitter adjusted on delivery
- measurement method globally standardized according to ISO 5167
- optional symmetric orifice for bidirectional measurements
- robust design; no moving parts

PRESION.

Technical Information

Ceraphant T PTC31, PTP31

Process pressure

Pressure switch for safe measurement and monitoring of absolute and gauge pressures



Application

Pressure switch for monitoring absolute and gauge pressures in gases, vapours, liquids and dust.

Ceraphant T PTC31

– with ceramic sensor diaphragm;

Ceraphant T PTP31

– with metallic sensor diaphragm;

- Finely graduated measuring ranges from vacuum to 400 bar/6000 psi
- Versions for use in hygienic applications
- Electronic versions
 - one PNP switch output
 - two PNP switch outputs
 - PNP switch output with additional analog output 4 to 20 mA (active)
- May not be used in moisture latent environments

Your benefits

This compact pressure switch impresses with the latest in technology being used:

- Integrated switching electronics for decentral and economic process monitoring and control.
- Quick and flexible process integration thanks to modular connections.
- High reproducibility and long-term stability.
- Function check and information on site thanks to LEDs and digital display.
- Ceraphire® sensor diaphragm: corrosion-proof, abrasion-proof and extremely overload-resistant.
- Excellent accuracy and briefest response time right to the smallest measuring range.
- Operation and visualization with personal computer and ReadWir® 2000 or FieldCare®.
- Upper part of housing can be rotated by 310°, therefore best readability of measured values in all orientations
- DESINA compliant



3394/24/01/1030

Endress+Hauser 
People for Process Automation

**B) ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS FINALES DE CONTROL
PROPUESTOS.**

VÁLVULA DE CONTROL.

**Electronic Modulating Actuators
for Baumann Control Valves**

Model MV-1020 and VA-1020 Electronic Modulating Valve Actuators feature state-of-the-art stepper motor technology to provide unrestricted continuous modulation and exacting position control. Performance of these actuators rivals the power of our pneumatic diaphragm sliding stem designs.

FEATURES:

- **Integral Servo Amplifier/Positioner;**
AC or DC pulse (optional)
Accepts 4-20 mA, 0-5 VDC, or 0-10 VDC Input
Signal as standard; Split range 4-12 and 12-20mA;
Dry contact closure
- **Wide Ambient Temperature Operating Range**
-40°F to 150°F (-40°C to 65°C)
- **Motor Enclosure**
Standard: CSA Explosion-proof for Class I, Div 1,
Groups C & D; Dust-ignition-proof for Class II, Div 1,
Groups E, F, G. Also rated NEMA 4, 7, & 9 (IP65)
indoor/outdoor; Optional: Group B and ATEX (for
24VDC & 120/240 VAC only)
- **Excellent Positioning Accuracy**
+/- 1% of Full Range
- **Stepper Motor Technology**
Unrestricted continuous modulating duty
- **Fits Baumann™ 24000 Series Sliding Stem Valve
Designs**
24000 Series Baumann family of Bronze, Carbon
Steel, Stainless Steel, and special alloy designs
- **Top-Mounted Manual Override**
Permits manual operation with loss of power
- **Built-in Loop Powered Position Transmitter**
4-20 mA signal
- **Easy pushbutton calibration**



Figure 1. Model MV-1020
Linear Valve Actuator mounted
to series 2400SVF



Figure 2. Model VA-1020
Linear Valve Actuator mounted
to series 24000C



RELEVADOR DE ESTADO SÓLIDO (SSR).



Allen-Bradley

Solid-State Relays

700-SA -SC, -SE, -SF, -SH, -SK

Application Guide

Rockwell Automation

VÁLVULA SOLENOIDE.



Low Power Solenoid Valves
Aluminum, Brass, or Stainless Steel Bodies
1/4" to 1" NPT

2/2•3/2
4/2•5/2•5/3
SERIES
Low Power

Features

- Molded one-piece solenoid with highly efficient solenoid cartridge and special low wattage coil
- Increased ambient temperature capabilities up to 175°F (80°C)
- Designed for use in automation of plant control systems to provide:
 - PLC compatibility
 - Reduced battery drain
 - Reduced heat rise
 - Reduced wiring cost
- Wide selection includes 2/2 normally closed, 3/2 normally closed (including Quick Exhaust), 3/2 universal, 4/2, 5/2, and 5/3
- Air or inert gas only
- Lower-cost alternative to intrinsically safe valves in critical applications not requiring a safety barrier

Construction

Valve Parts in Contact with Fluids			
Body	Aluminum	Brass	Stainless Steel
Seals and Discs	FUR, NBR, FKM, CR, as listed		
Sleeve	304L Stainless Steel		
Core and Plunger	400F Stainless Steel		
Core Springs	302 Stainless Steel		
Pilot Seat Cartridge (Series 8316 & 8344 only)	CA		
Rotor Rings	PTFE		
Spring Retainer	CA		

Electrical (Normal Ambient Version, +60°C)

Coil: Continuous duty Class F. **IMPORTANT:** Leakage current existing in your system above 7 mA will cause improper operation.

DC Watt Rating and Power Consumption	24 DC Spare Coil Part No.		Maximum Line Resistance vs. Length of Wire		
	General Purpose	Explosionproof	Power Source	Max. Loop Resistance	Max. Wire Run 18 AWG 7x25 Stranded (ft)
1.4 at 68°F (20°C)	238718-312-D	238714-302-D	Volts	Ohms	
Low Power Solenoid: Standard voltages: 12 and 24 DC Nominal Operating Range: +10%, -15% Must be specified when ordering Typical 24 Volt DC System: Min. pull-in: 0.542 amps Min. drop-out: 0.007 amps Coil resistance: 410 ohms at 68°F (20°C) ±10% Max. ambient temp: 140°F (60°C)			21	16.5	1120
			22	40.5	2750
			23	64.0	4350
			24	88.0	5980

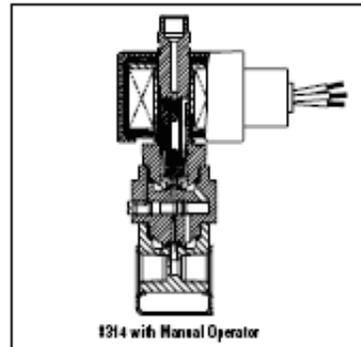
Electrical (High Ambient Version, +80°C)

Coil: Continuous duty Class F. **IMPORTANT:** Leakage current existing in your system above 8 mA will cause improper operation.

DC Watt Rating and Power Consumption	24 DC Spare Coil Part No.		Maximum Line Resistance vs. Length of Wire		
	General Purpose	Explosionproof	Power Source	Max. Loop Resistance	Max. Wire Run 18 AWG 7x25 Stranded (ft)
1.8 at 68°F (20°C)	238718-318-D	238714-308-D	Volts	Ohms	
Low Power Solenoid: Standard voltages: 12, 24 and 48 VDC Nominal Operating Range: +10%, -15% Must be specified when ordering Typical 24 Volt DC System: Min. pull-in: 0.051 amps Min. drop-out: 0.008 amps Coil resistance: 320 ohms at 68°F (20°C) ±10% Max. ambient temp: 175°F (80°C)			21	3.8	260
			22	23.4	1590
			23	40	2920
			24	62.6	4280

Note: The applicable T code for the 1.8 watt construction is T5 (100°C)

LowPowerR1



SPECIAL SERVICE PILOT

Ordering

Normal Ambient Version

EV8551G322 24VDC

High Ambient Version (always add TPL #23033)

EFX8316G301-23033 24VDC

Solenoid Enclosures

Standard: Watertight, Types 1, 2, 3, 3S, 4, and 4X.

Optional: Explosionproof and Watertight, Types 3, 3S, 4, 4X, 6, 6P, 7, and 9.

(To order, add prefix "EF" to catalog number. For explosionproof with 316 Stainless Steel hub and trim, specify prefix "EV".) Surge suppression coils also available "MF" prefix.

See Optional Features Section for other available options.

Approvals

UL listed General Purpose Valves (Hazardous Location Classified). EV8345G381 solenoid only UL listed. CSA certified; nonincendive for Class I, Division 2 UL E25549. Meets applicable CE directives.

Refer to Engineering Section for details.

109

C) ECIFICACIONES DEL EQUIPO DE CONTROL PROPUESTOS.

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLES “MICROLOGIX 1500”



 **Allen-Bradley**

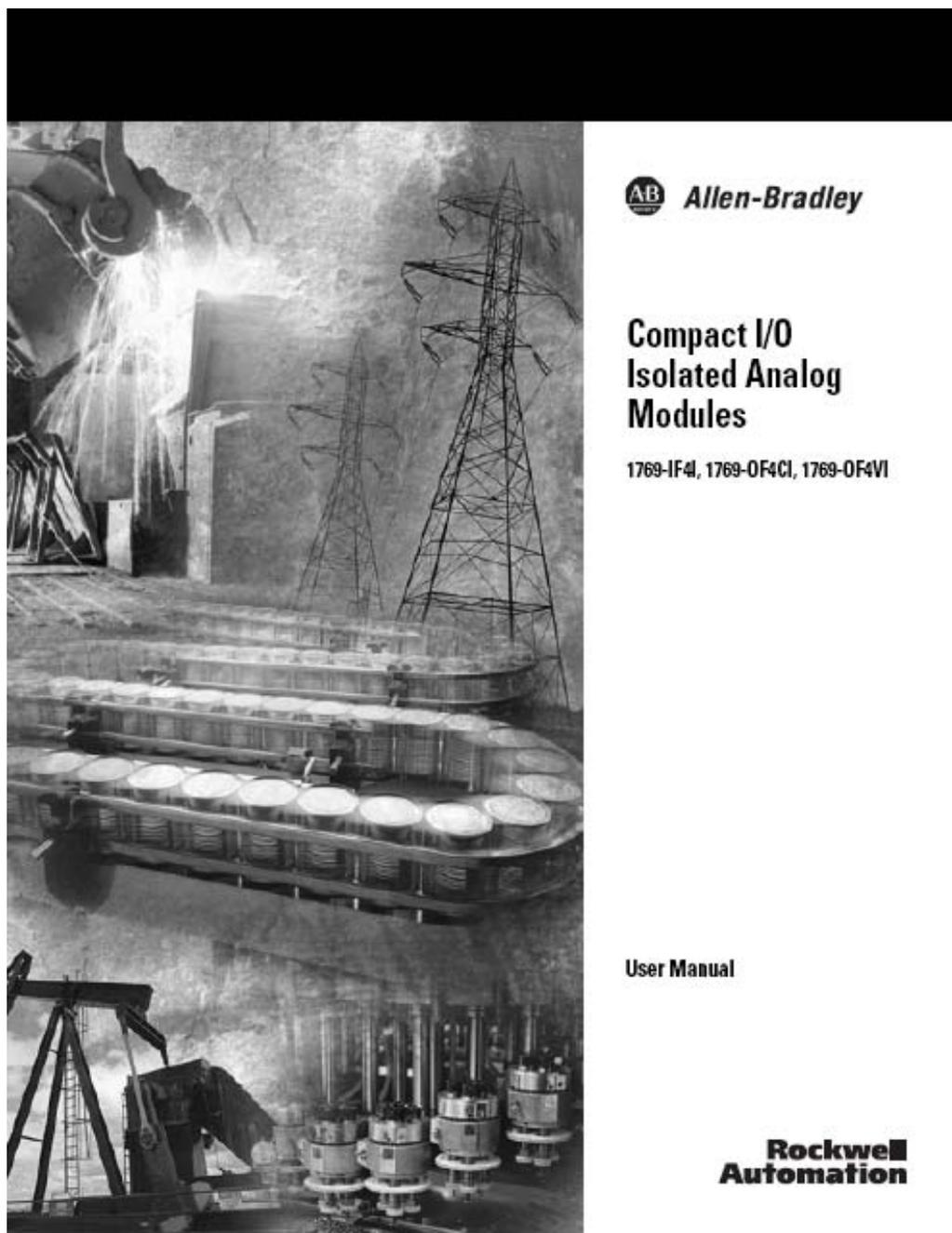
**MicroLogix™ 1200
and MicroLogix
1500 Programmable
Controllers**

Bulletins 1762 and 1764

**Instruction Set Reference
Manual**

**Rockwell
Automation**

TARJETAS DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL CONTROLADOR.

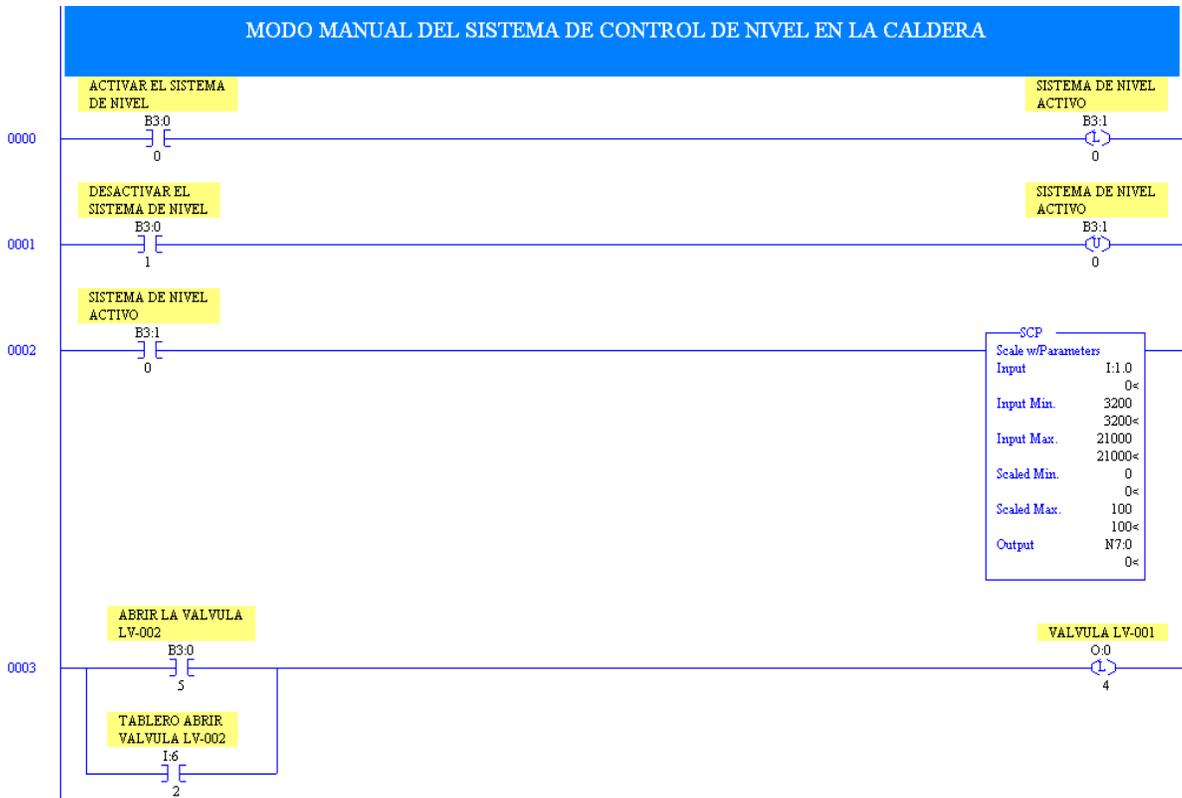


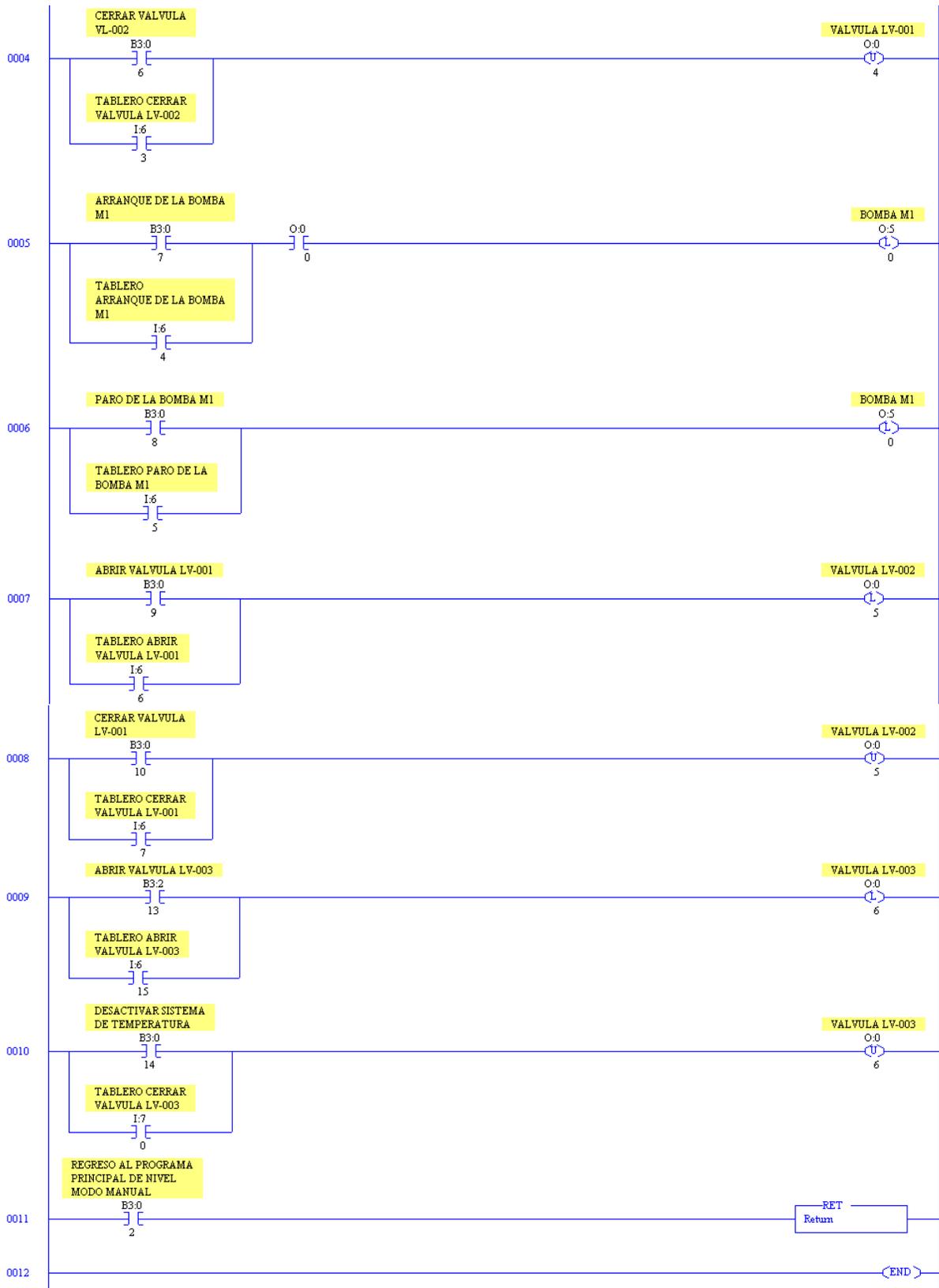
ANEXO	B
PROGRAMACIÓN EN RSLOGIX 500	

SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL.

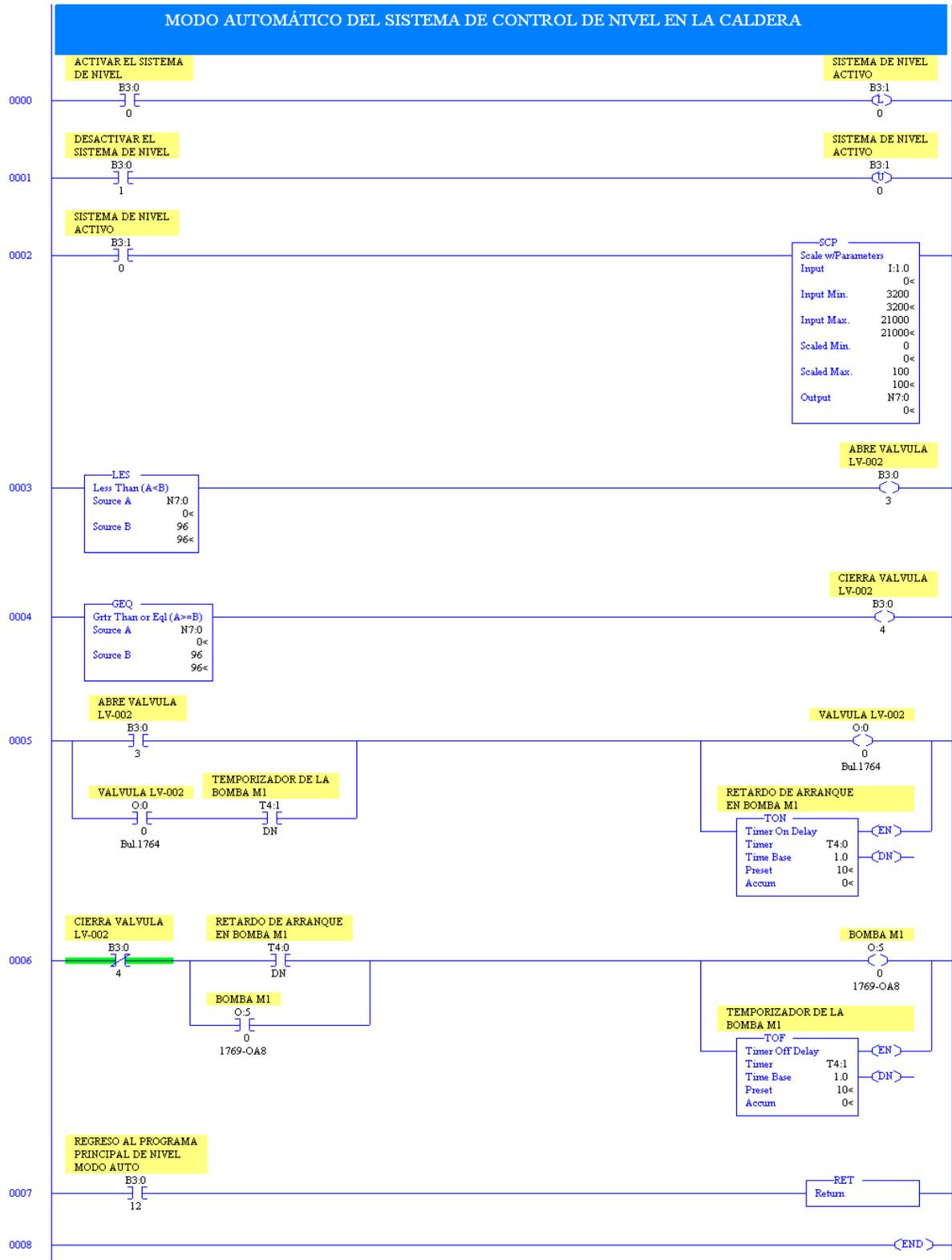


SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL EN MODO MANUAL.

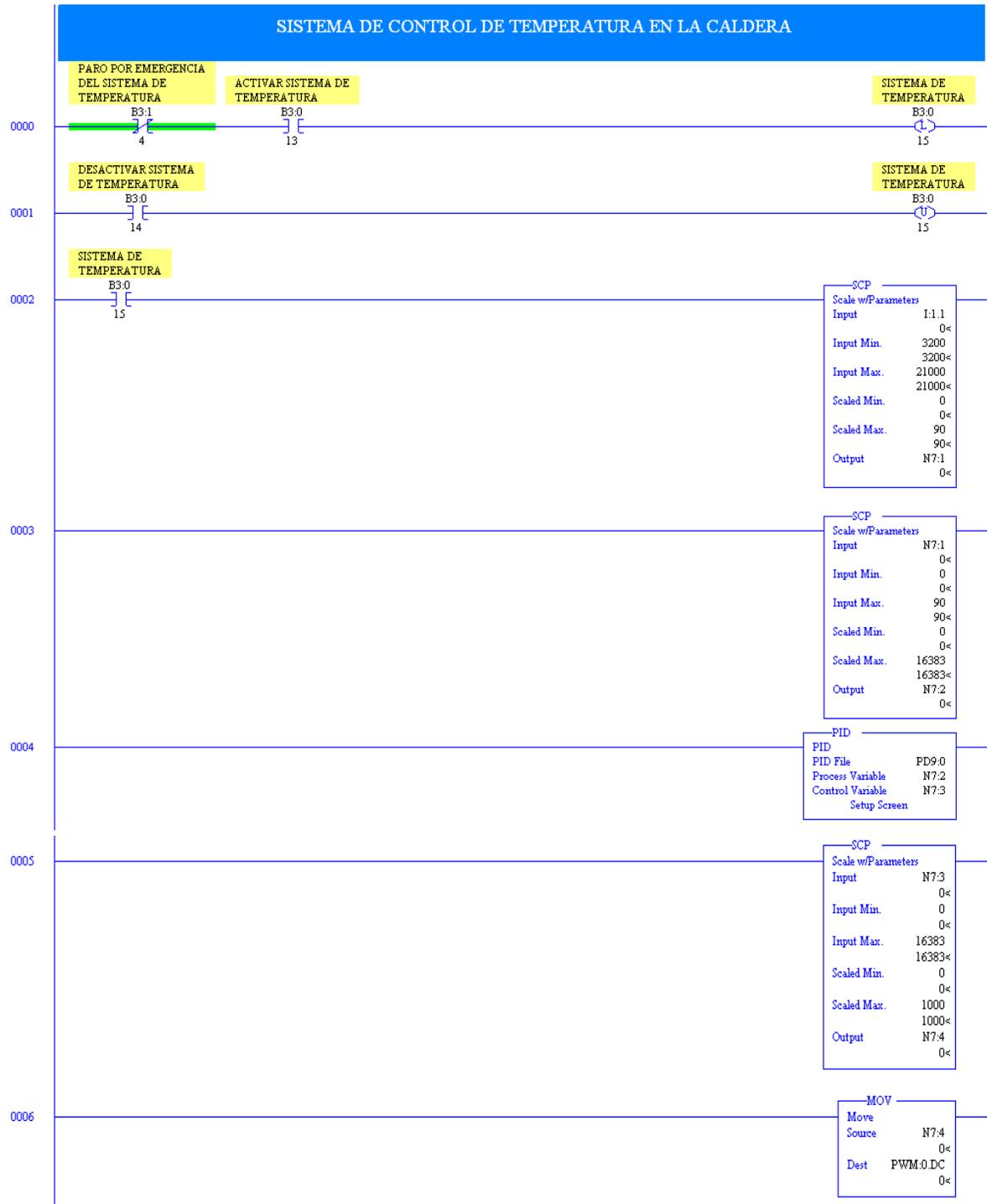


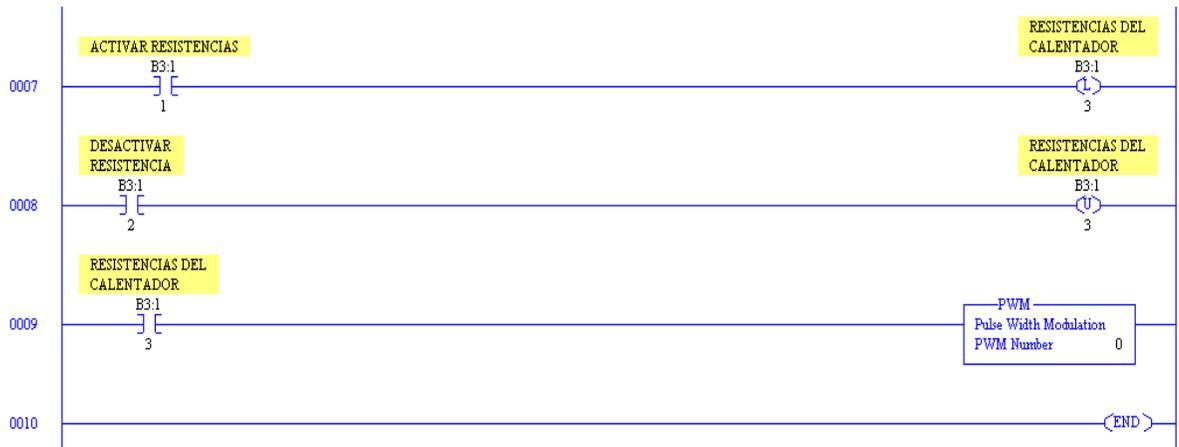


SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL EN MODO AUTOMATICO.

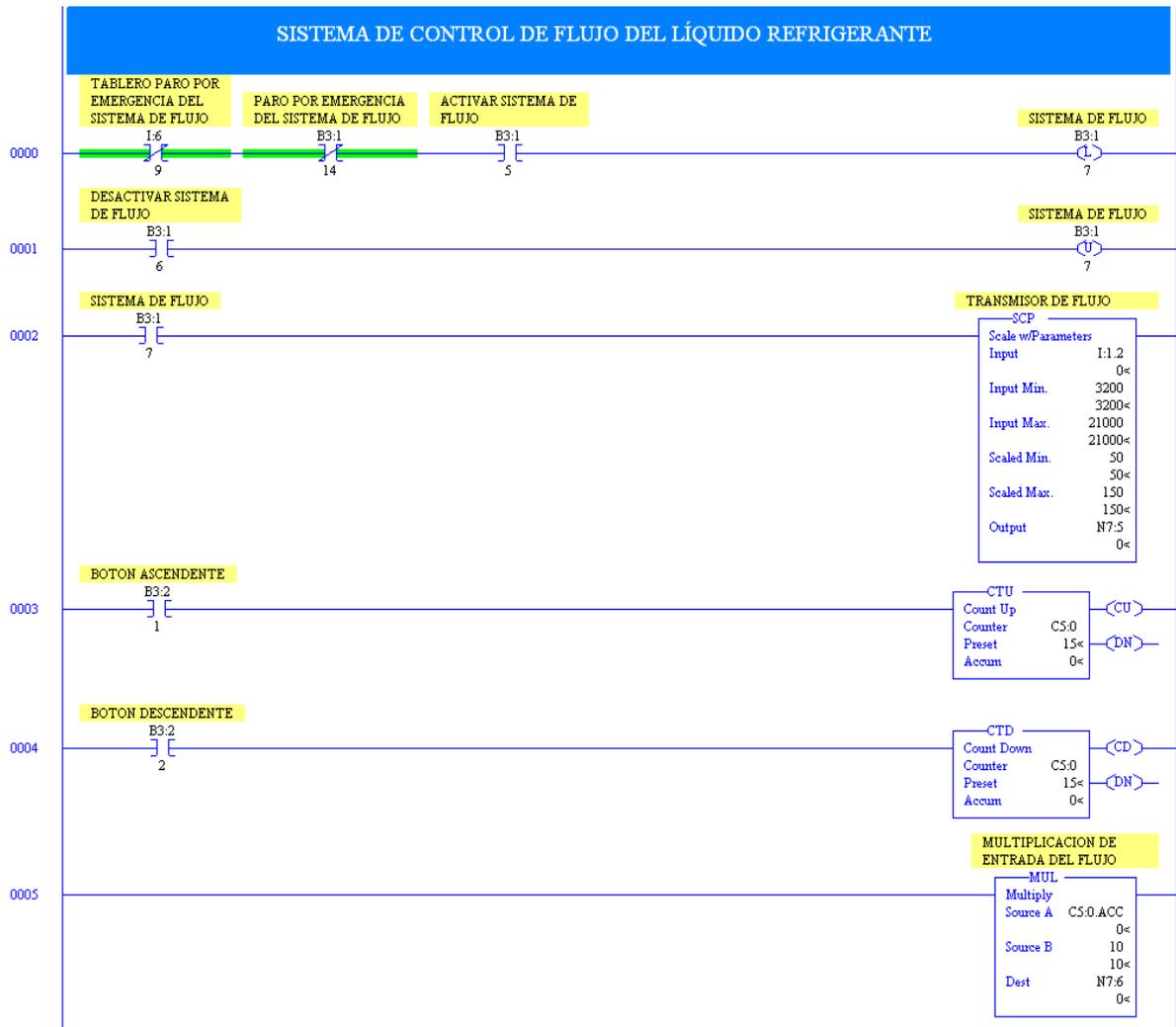


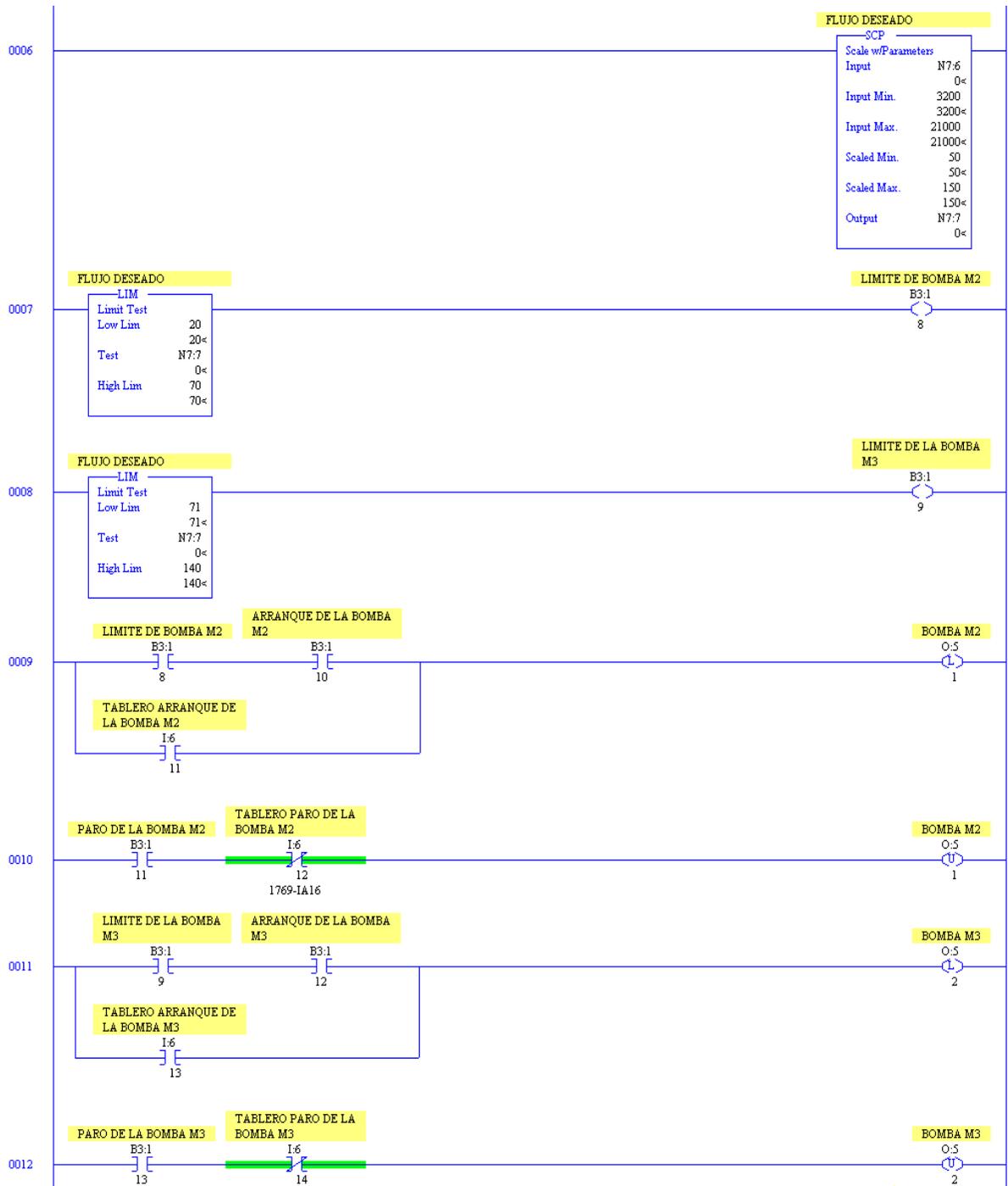
SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.

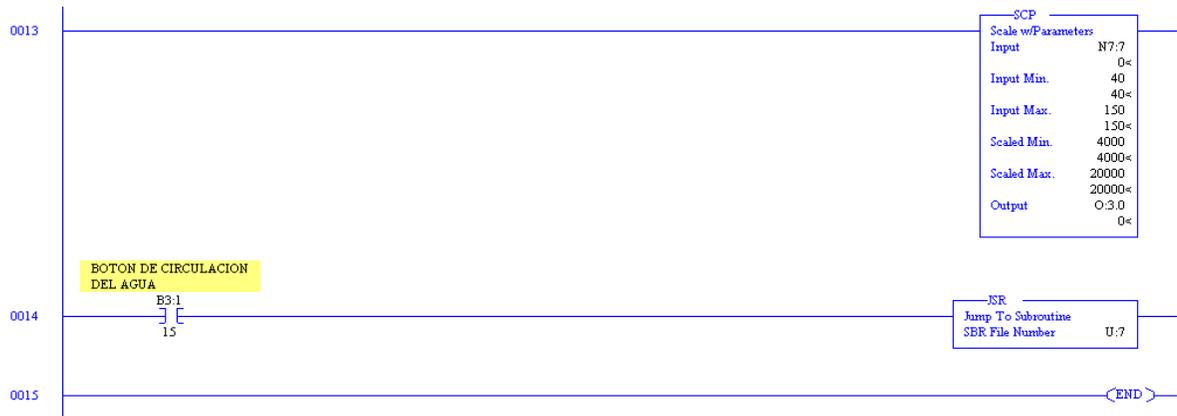




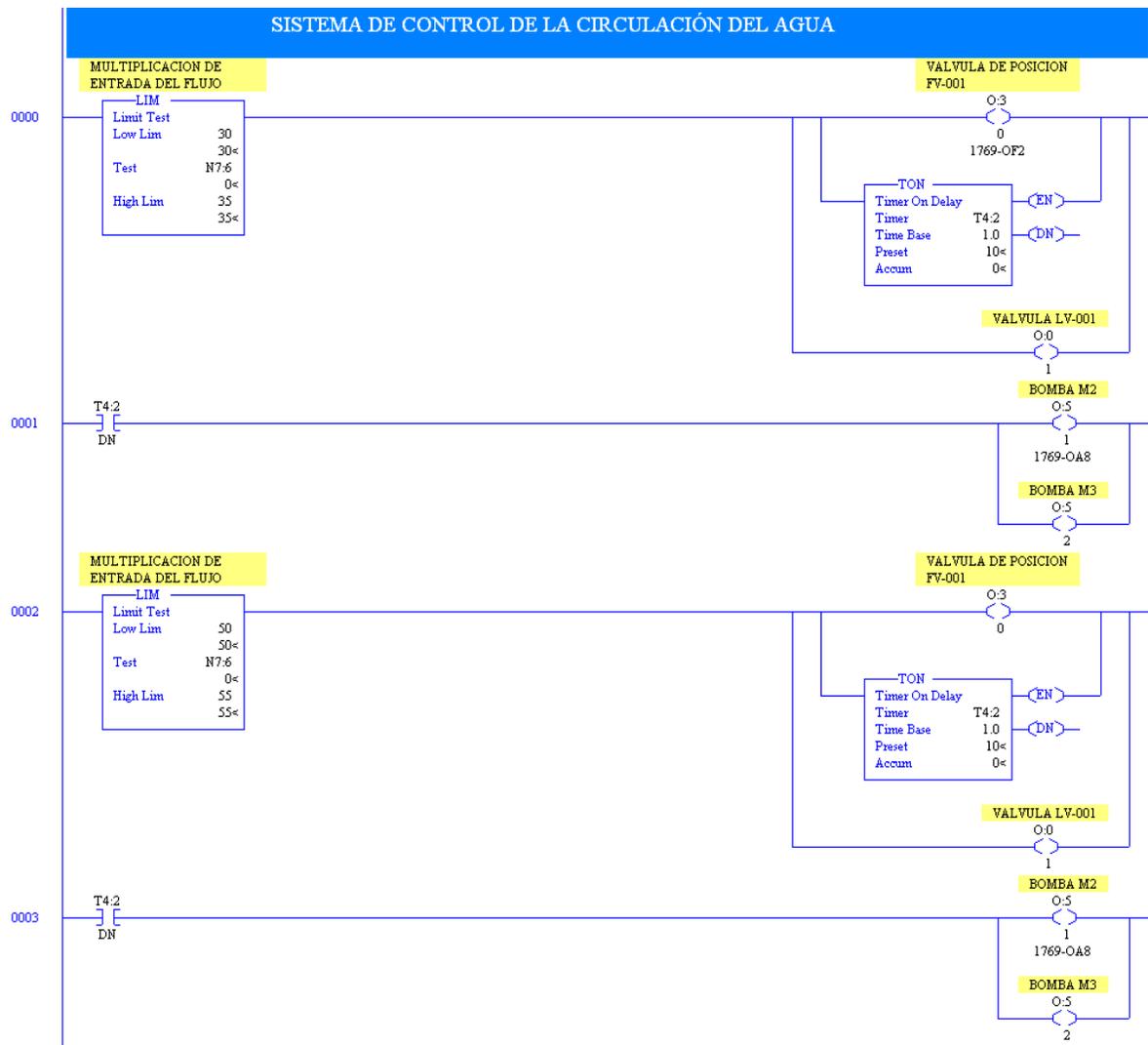
SISTEMA DE CONTROL DE FLUJO DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE.

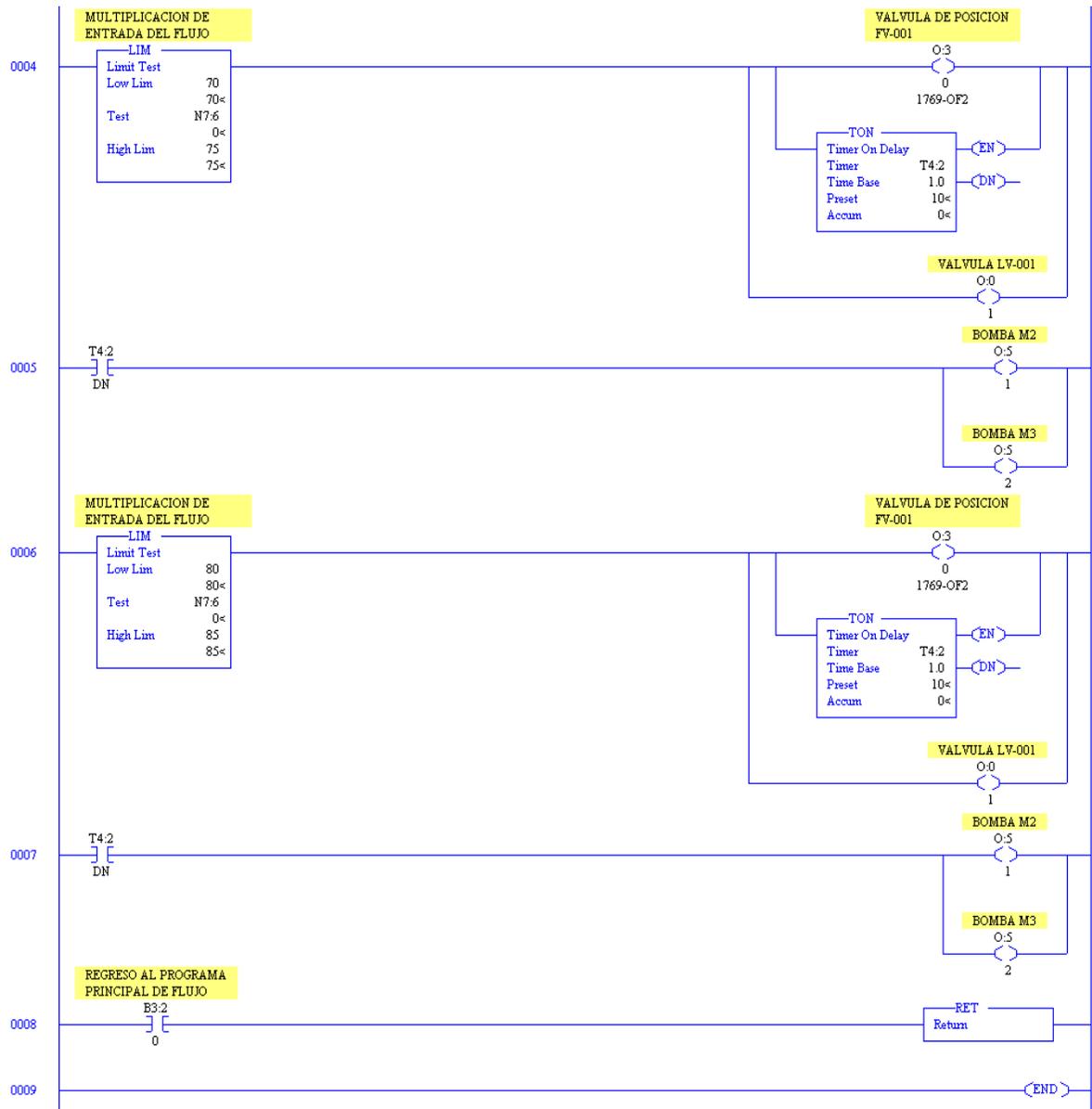




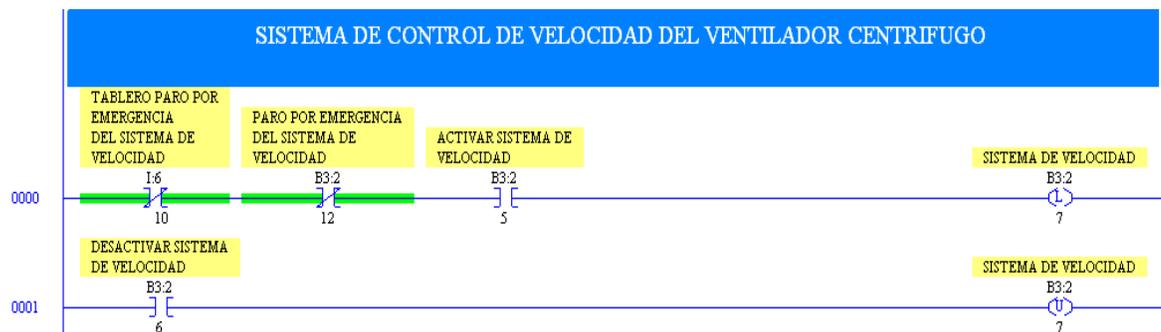


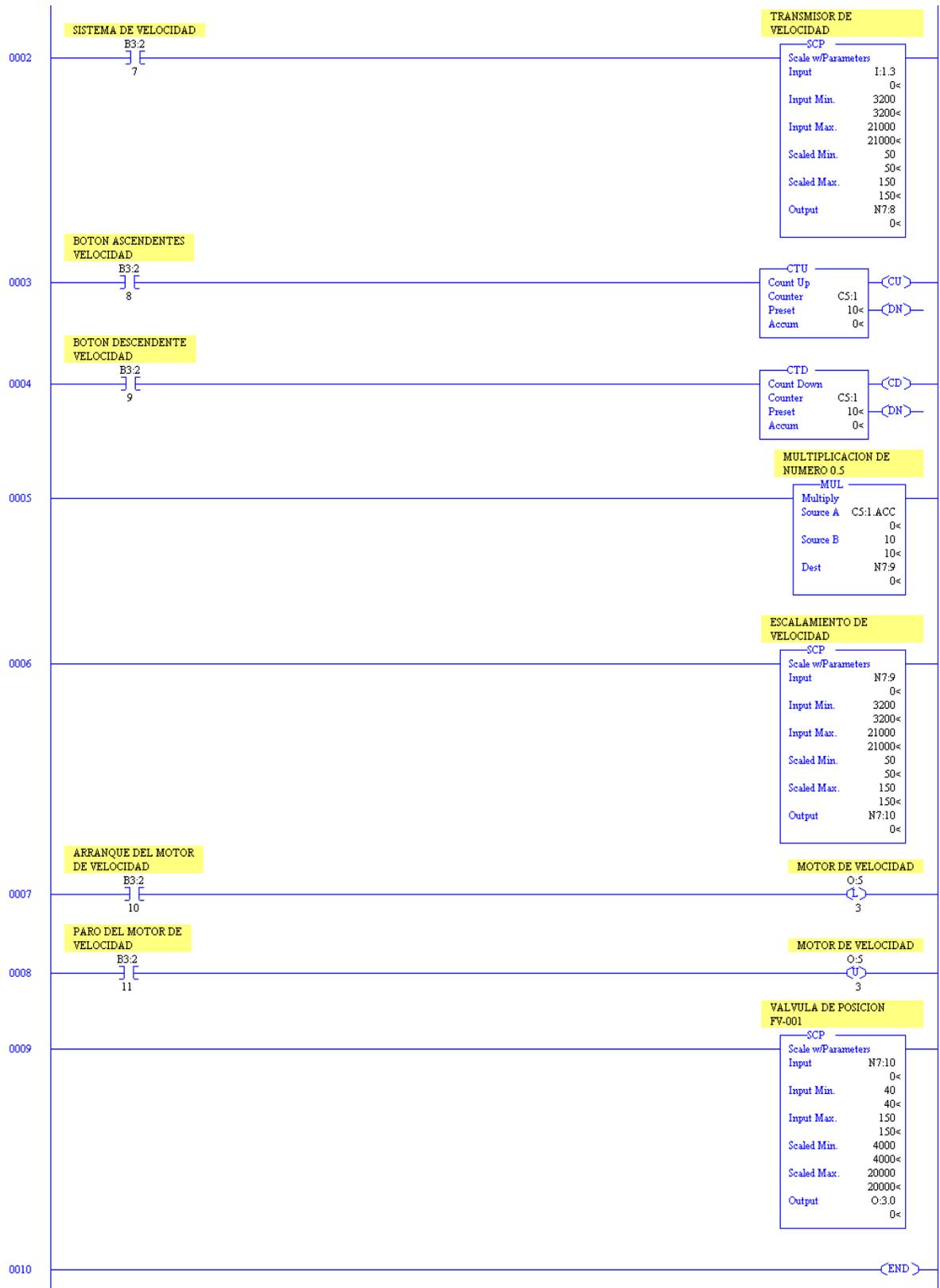
CIRCULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE FLUJO.





SISTEMA DE VELOCIDAD DE VENTILADOR CENTRÍFUGO.

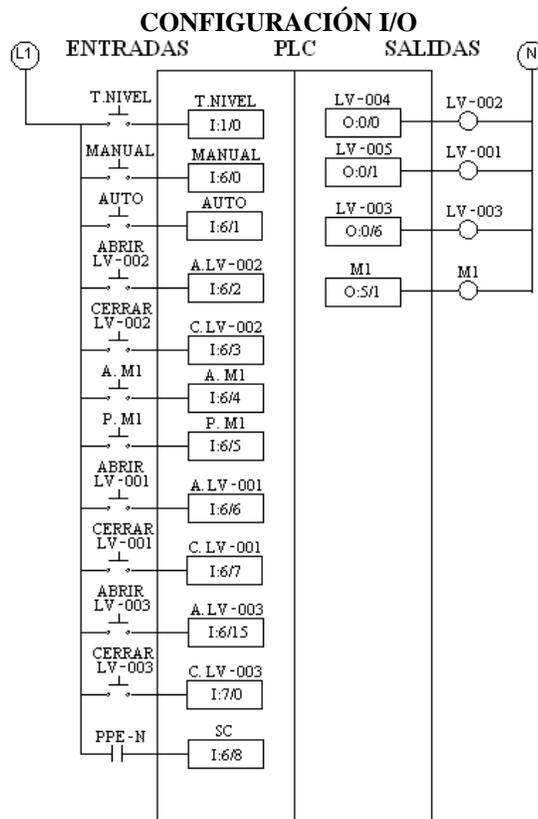




ANEXO	C
TABLERO DE CONTROL	

CONTROL DE NIVEL DE LA CALDERA

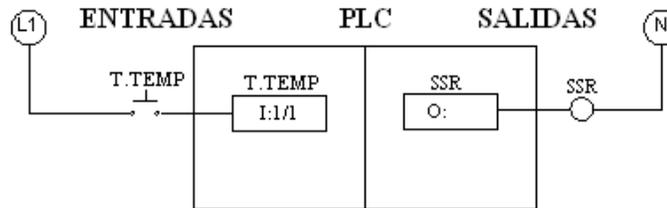
Dirección	Tag	Descripción
I:1/0	T. NIVEL	Señal de Transmisor de Nivel.
I:6/0	Manual	Botón de modo manual del sistema de nivel.
I:6/1	Auto	Botón de modo automático del sistema de nivel.
I:6/2	Abrir LV-002	Abrir válvula LV-002.
I:6/3	Cerrar LV-002	Cerrar válvula LV-002.
I:6/4	A. M1	Arranque de la Bomba M1.
I:6/5	P. M1	Paro de la Bomba M1.
I:6/6	Abrir LV-001	Abrir válvula LV-001.
I:6/7	Cerrar LV-001	Cerrar válvula LV-001.
I:6/15	Abrir LV-003	Abrir válvula LV-003.
I:7/0	Cerrar LV-003	Cerrar válvula LV-003.
I:6/8	PPE-N	Paro por emergencia del sistema de nivel.
O:0/4	LV-002	Actuador de la válvula LV-002.
O:0/5	LV-001	Actuador de la válvula LV-001.
O:0/6	LV-003	Actuador de la válvula LV-003.
O:5/0	M1	Interruptor de la Bomba M1.



CONTROL DE TEMPERATURA DE LA CALDERA.

Dirección	Tag	Descripción
I:1/1	T. TEMP	Señal de Transmisor de Temperatura.
O:0/3	SSR	Relevador de Estado Sólido.

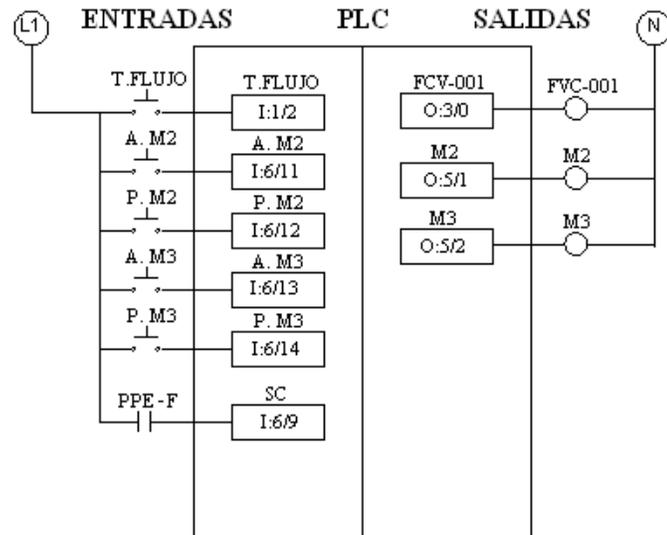
CONFIGURACIÓN I/O



CONTROL DE FLUJO DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE.

Dirección	Tag	Descripción
I:1/2	T. FLUJO	Señal de Transmisor de Flujo.
I:6/9	PPE-F	Paro por Emergencia del Sistema de Flujo.
I:6/11	A. M2	Arranque de la Bomba M2.
I:6/12	P. M2	Paro de la Bomba M2.
I:6/13	A. M3	Arranque de la Bomba M3.
I:6/14	P. M3	Paro de la Bomba M3.
O:3/0	FCV-001	Actuador de la válvula reguladora FVC-001.
O:5/1	M2	Interruptor de la Bomba M2.
O:5/2	M3	Interruptor de la Bomba M3.

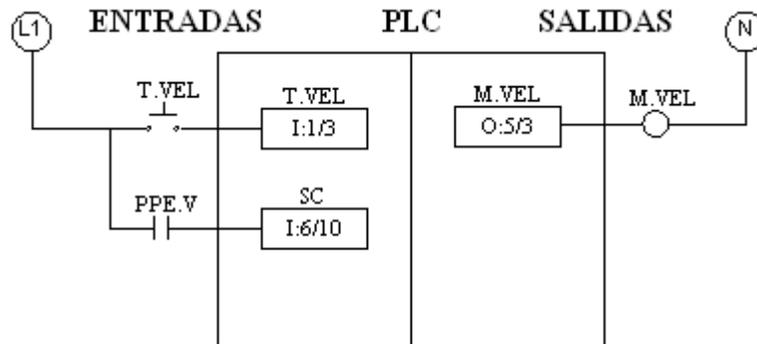
CONFIGURACIÓN I/O



CONTROL DE VELOCIDAD DEL VENTILADOR CETRÍFUGO.

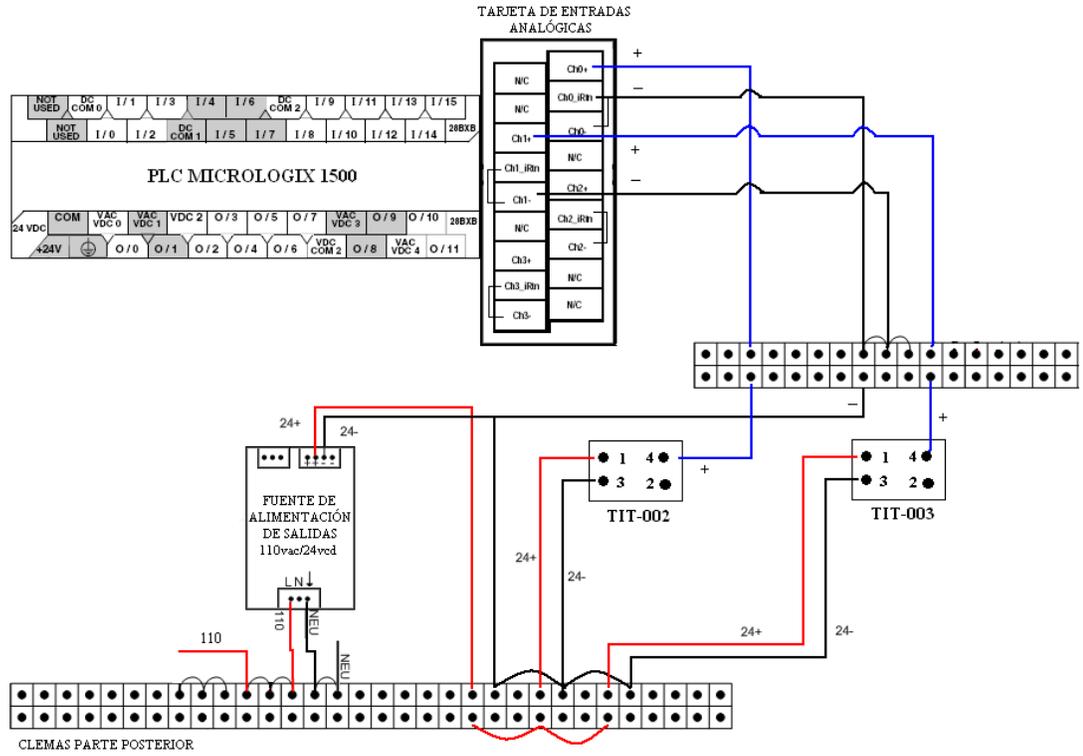
Dirección	Tag	Descripción
I:1/3	T. VEL	Señal de Transmisor de Velocidad.
I:6/10	PPE-V	Paro por Emergencia del Sistema de Velocidad.
O:5/2	M. VEL	Interruptor deL Motor de Velocidad.

CONFIGURACIÓN I/O

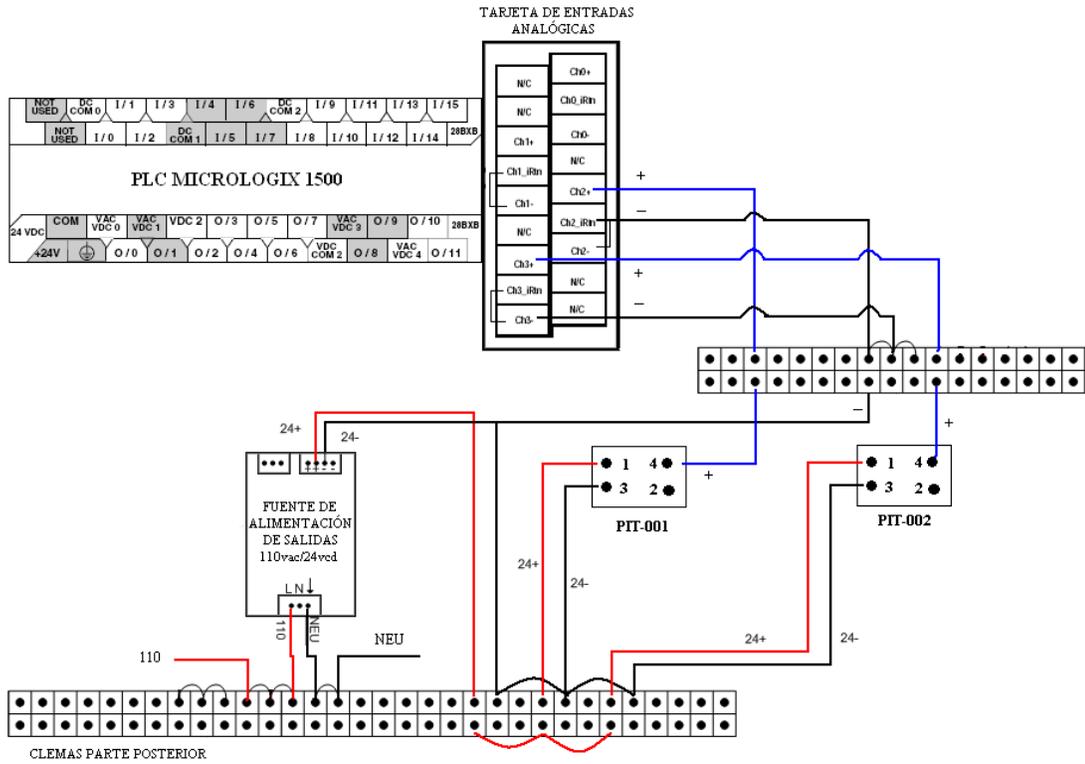


ANEXO	D
DIAGRAMAS ELÉCTRICOS	

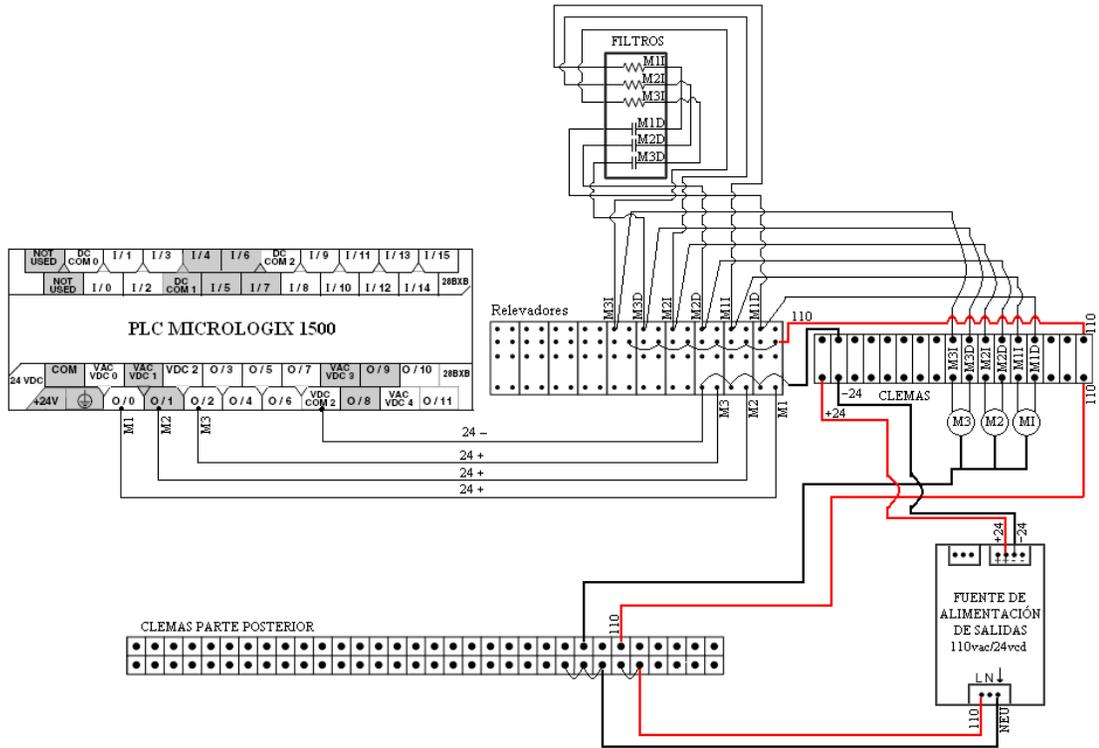
CONEXIÓN DE TRANSMISORES DE TEMPERATURA.



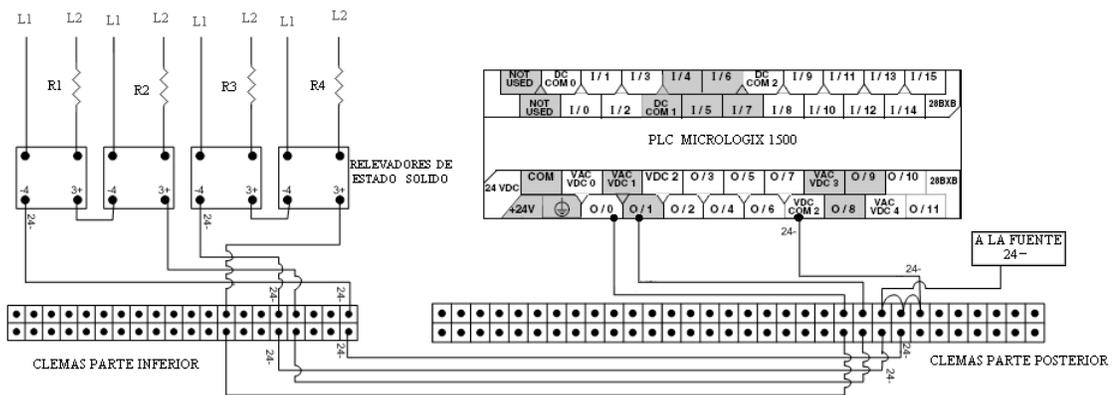
CONEXIÓN DE TRANSMISORES DE PRESION.



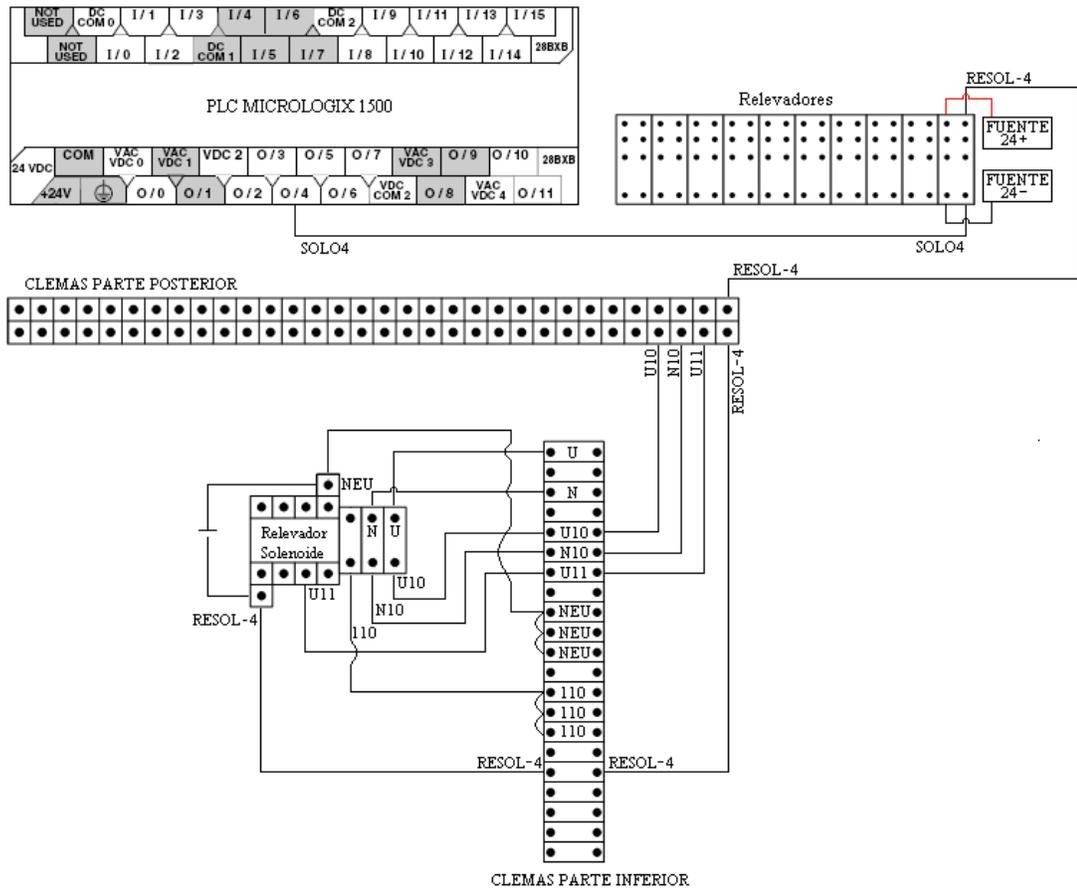
CONEXIÓN DE MOTORES.



CONEXIÓN DE RESISTENCIAS.



CONEXIÓN DE SOLENOIDES.



ANEXO	E
PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN PROPUESTA	

PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL TRANSMISOR DE NIVEL.

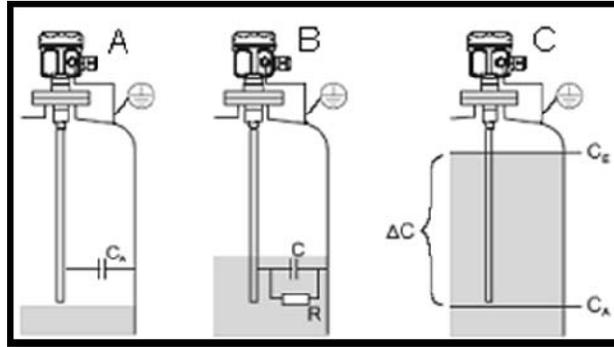
Medidor de nivel tipo capacitivo.

Se basa en el principio eléctrico para medir nivel de líquidos en un tanque abierto o cerrado es el tipo capacitivo y consiste en una varilla de acero inoxidable rígida o flexible, con y sin recubrimiento de teflón que actúa como sonda o sensor y es uno de los polos del sistema; el otro polo es la pared del tanque.

El sensor y la pared del tanque forman un campo capacitivo que varía conforme aumenta o disminuye el nivel del recipiente, porque cada sustancia posee una constante dieléctrica específica y genera determinada cantidad de picofaradios por unidad de volumen.

Cuando la sonda está en aire (A), se mide una capacitancia baja. Cuando el recipiente está lleno, la capacitancia aumenta más si la sonda está cubierta (B), (C). A partir de una conductividad de $100 \mu\text{s} / \text{cm}$, la medición es independiente del valor de la constante dieléctrica (DK) del líquido. Como resultado, las fluctuaciones en el valor DK no afectan el valor medido mostrado.

Además, el sistema también evita el efecto de acumulación del medio o condensado cerca de la conexión de proceso de la sonda con una longitud inactiva, como se muestra en la figura.



Principio de medición capacitivo.

R: conductividad del líquido

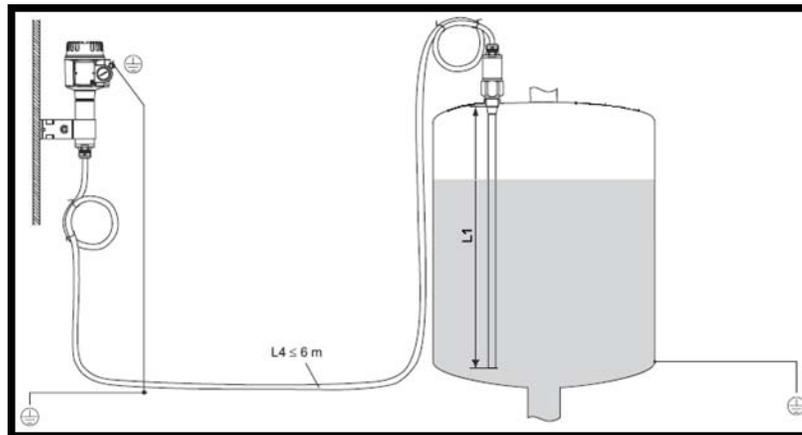
C: Capacitancia del líquido

CA: Capacitancia inicial (sonda no cubierta)

CE: Capacitancia final (sonda cubierta): cambio de capacitancia

ΔC : Cambio en la capacitancia.

A continuación se muestra un diagrama de montaje en la figura para el transmisor de nivel ubicado en la caldera.

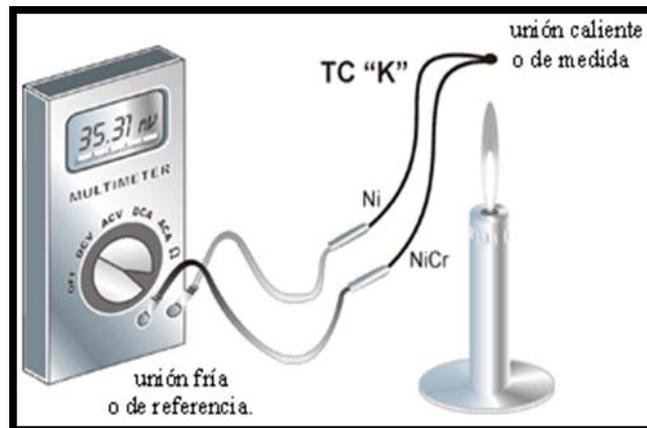


Montaje del transmisor de nivel

PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL TRANSMISOR DE TEMPERATURA.

En lo que respecta a las mediciones de temperatura, se explicara de forma breve el principio de funcionamiento de estos instrumentos, el cual están formados por:

Un **termopar (TC)** que es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (a causa del denominado "efecto termoeléctrico"), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia, como se muestra en la figura.



Principio de funcionamiento de un termopar.

Los transmisores convierten de diversas señales de entrada (RTD, TC) en una señal analógica escalable de 4 a 20 mA o señal de salida de un protocolo de bus de campo. La instalación puede ser remota, o ya sea en campo directamente en el sensor, como se muestra en la figura.

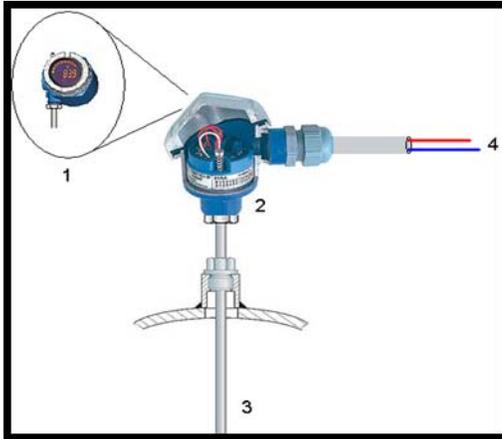


Figura 3.10. Transmisor indicador de temperatura

Donde:

1. Display.
2. Transmisor.
3. Termopozo.
4. Señal 4-20 mA o Protocolo.

PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL TRANSMISOR DE FLUJO.

El elemento primario de flujo opera bajo el siguiente principio de funcionamiento:

En el orificio de la placa la velocidad de flujo es mayor que en el resto del tubo. Según la ecuación de Bernoulli esto se traduce en una reducción de la presión estática. La diferencia de presión entre la presión estática del lado de alta y de lado de baja de la placa orificio se mide por medio de un transmisor de presión diferencial.

El valor de la presión diferencial depende de la razón de diámetro (β), del diámetro interior del orificio (d) del agujero al diámetro interior del tubo (D), como se muestra en la siguiente figura. Después del orificio la presión recupera parte de su valor original. Hay una pérdida de presión restante $\Delta\omega$.

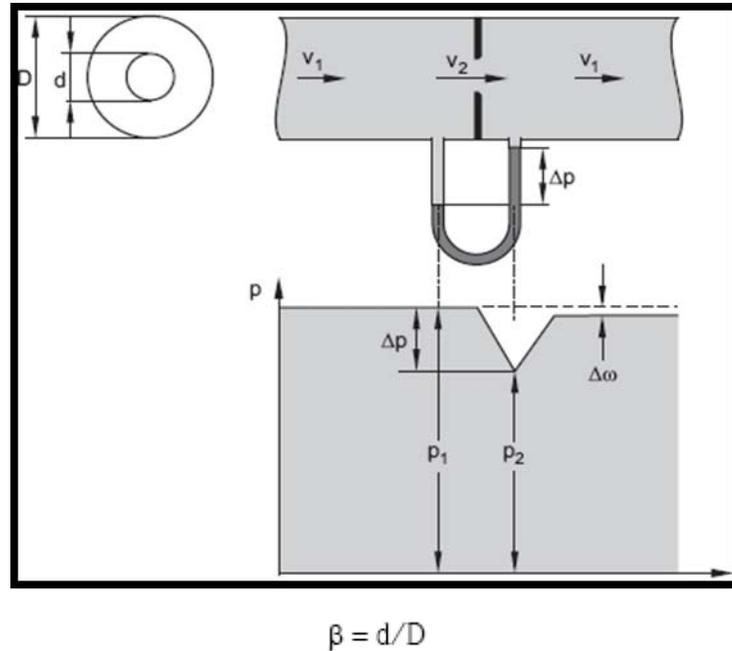


Diagrama de principio de funcionamiento de la placa de orificio.

Placas de orificio y otros dispositivos similares son también designados como elementos primarios. La relación entre el caudal (Q) y presión diferencial (Δp) es una función raíz cuadrada.

$$Q : \sqrt{\Delta p}$$

A continuación se muestra un diagrama de montaje para el transmisor de flujo, donde:

1. Placa de orificio
2. Válvulas de corte de suministro
3. Tres válvulas de escape
4. Transmisor Deltabar de presión diferencial
5. Separador
6. Válvulas de dren

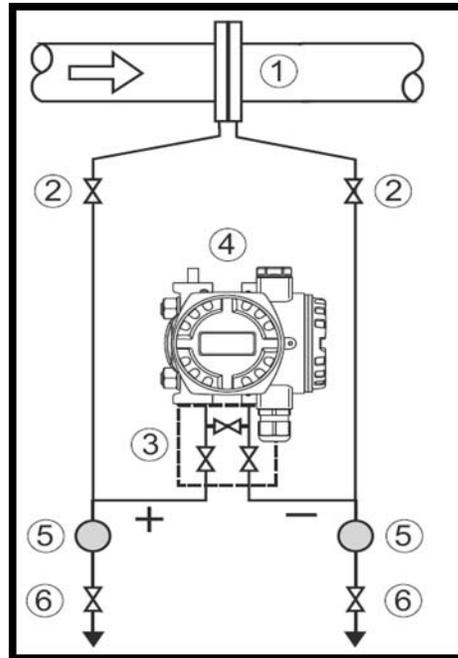
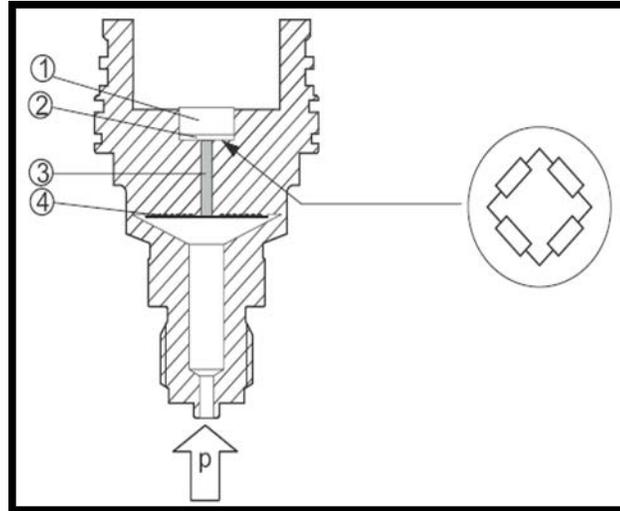


Diagrama de Montaje de Transmisor de Flujo.

PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN.

El funcionamiento se basa en una presión de operación que deforma un diafragma, el movimiento del diafragma se transmite por medio de un fluido de relleno el cual varía la resistencia óhmica de un potenciómetro. Este está conectado a un circuito de puente de Wheatstone; donde cambio en el voltaje de salida del puente es proporcional a la presión y puede ser medido directamente.

En la figura se muestra de manera general los componentes básicos del elemento primario de medición de presión (sensor metálico de presión).



Partes del sensor metálico de presión.

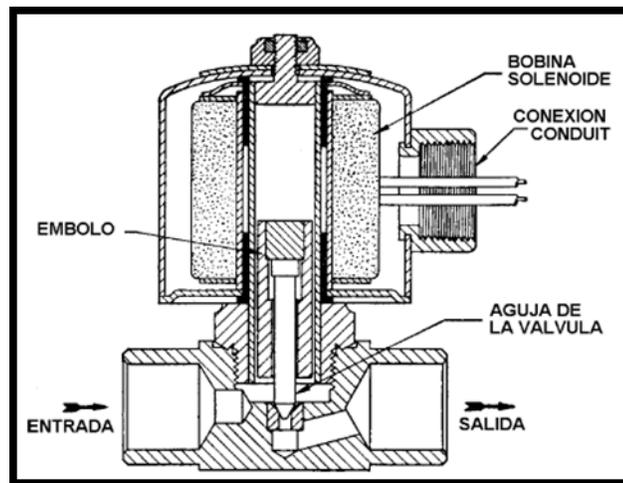
Sensor metálico:

1. Elemento de medición
2. Diafragma de medición con puente de Wheatstone
3. Canales del líquido de llenado.
4. Diafragma de proceso, separación del diafragma de metal

PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VÁLVULA SOLENOIDE.

La válvula de solenoide puede usarse para controlar el flujo de muchos fluidos diferentes, dándole la debida consideración a las presiones y temperaturas involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales usados en la construcción de la válvula. Ésta válvula se cierra por gravedad, por presión o por la acción de un resorte; y es abierta por el movimiento de un émbolo operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente, o viceversa.

En la figura se muestra las partes principales ya integradas de una válvula de solenoide típica. La aguja de la válvula está unida mecánicamente a la parte inferior del émbolo. En esta válvula en particular, cuando se energiza la bobina, el émbolo es levantado hacia el centro de la bobina, levantando la aguja del orificio donde está sentada, permitiendo así el flujo. Cuando se desenergiza la bobina, el peso del émbolo hace que caiga por gravedad y cierre el orificio, deteniendo el flujo.



Válvula de solenoide típica de acción directa, normalmente cerrada de dos vías.