

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería “El Politécnico”

**Instrumentación de un Tanque Continuamente Agitado (CSTR)
Presurizado con Intercambio de Calor**

Alex Fabián Altuna Guevara

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero
Eléctrico-Electrónico

Quito, Diciembre de 2009

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias e Ingeniería “El Politécnico”**

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Instrumentación de un Tanque Continuamente Agitado (CSTR)
Presurizado con Intercambio de Calor**

Alex Fabián Altuna Guevara

Omar Aguirre, MSc
Miembro del Comité de Tesis

.....

Santiago Navarro, PhD
Miembro del Comité de Tesis

.....

Daniel Cárdenas, PhD
Miembro del Comité de Tesis

.....

Fernando Romo, PhD
Decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería “El Politécnico”

.....

Quito, Diciembre de 2009

© Derechos de autor

Alex Fabián Altuna Guevara

2009

DEDICATORIA

A mis padres, que tienen la fuerza más inspiradora que un hijo podría recibir, el amor.

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa de mi formación quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a las personas que hicieron posible alcanzar esta meta.

A mis padres y hermanos, Nelson, Doroty, Nelson Enrique y María Verónica que han sabido ser fuentes inagotables de comprensión y amor en todas las etapas de mi vida.

A Cristina Sayonara, que ha sabido caminar conmigo a lo largo de toda mi educación superior, regalándome todo su amor y cariño.

A mis amigos con quienes compartimos siempre en las buenas y en las malas, en especial Rodrigo y Giovanni.

A mi Directora de Tesis Lucía Quintero, mi Director de Carrera Santiago Navarro y al señor Fabián Morales por todo el apoyo presentado a lo largo de la ejecución del presente proyecto.

A toda la familia docente que forma el Colegio Politécnico de la USFQ, que han sido gran apoyo en toda mi carrera y ejemplo a seguir.

Alex Altuna

RESUMEN

El presente proyecto titulado “Instrumentación de un Tanque continuamente agitado (CSTR) presurizado con intercambio de calor” tiene por objeto seleccionar, diseñar, construir y comisionar los instrumentos de control necesarios para el manejo de ésta unidad que se encontrará en el laboratorio de control de la Universidad San Francisco de Quito. El proyecto se encontrará complementado por otros que tienen por objetivo entregar una planta funcional para experimentación y desarrollo de prácticas de los estudiantes de ingeniería.

El proyecto está conformado por cuatro instrumentos que controlaran las variables de presión, nivel, flujo y temperatura, así como un actuador que tendrá la función de válvula de control.

Para la ejecución del presente proyecto hubo que tomar en cuenta el proceso a realizarse y así optimizar la selección de instrumentos. En unos casos se adquirió el elemento sensor, en otros se construyeron los atenuadores de señal y en otros se construyeron los instrumentos desde cero. Todo se encuentra conectado a un sistema SCADA, gobernado por un PLC SIEMENS, desarrollado en la universidad con conexiones estandarizadas de 4 a 20 mA.

Con los instrumentos desarrollados tenemos ventajas como disminuir de manera muy significativa el costo de esta aplicación y desarrollar hardware que se complementará de manera perfecta con el software ya desarrollado en el laboratorio.

ABSTRACT

This project entitled "Implementation of a continuously stirred tank (CSTR) pressurized with heat exchange" has for objective the selection, design, build and commissioning of the necessary control instruments to manage this unit located in the control laboratory of the Universidad San Francisco de Quito. The project will be complemented by other projects that aim to deliver a functional plant for experimentation and engineering student's lab practices.

The project consists of four instruments that monitor the variables of pressure, level, flow and temperature as well as an actuator that has the function of control valve.

To implement this project it had to take into account the process to take place and thereby optimize the selection of instruments. In some cases the sensing element was acquired, in others the signal attenuators were built and other instruments were built from scratch. Everything is connected to a SCADA system, governed by a Siemens PLC, developed at the university with standardized 4 to 20 mA connections.

With the tools developed we have the advantages of a very significant reduction in costs of implementation and the development of hardware that will be complemented perfectly with the software already developed in the laboratory.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
TABLA DE CONTENIDOS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	2
1.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
CAPÍTULO 2	4
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1. CONCEPTOS GENERALES.....	4
2.1.1. CONTROL DE PROCESOS.....	4
2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS.....	5
2.1.3. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.....	7
2.1.4. INSTRUMENTOS.....	7
2.1.5. VARIABLES DE CONTROL DE PROCESOS	10
2.2. PRINCIPIOS DE MEDICIÓN EN INSTRUMENTACIÓN.....	10
2.2.1. FLUJO	10
2.2.2. NIVEL	13
2.2.3. PRESIÓN	16
2.2.4. TEMPERATURA.....	21
2.3. ELEMENTOS FINALES DE CONTROL.....	24
2.3.1. ACTUADORES.....	24
2.3.2. VÁLVULAS DE CONTROL.....	27
CAPÍTULO 3	35
SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN	35
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA	35
3.2. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS	36

3.2.1. FLUJO	36
3.2.2. NIVEL	38
3.2.3. PRESIÓN	41
3.2.4. TEMPERATURA.....	43
3.2.5. VÁLVULA DE CONTROL	47
CAPÍTULO 4	51
DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN.....	51
4.1. ACONDICIONADORES DE SEÑAL.....	51
4.1.1. CIRCUITO 0-10 VDC A 4-20 mA PARA TRANSMISOR DE FLUJO	51
4.1.2. CIRCUITO 0-2 VDC A 4-20 mA PARA TRANSMISOR DE NIVEL ...	54
4.1.3. CIRCUITO RTD PT-100 A 4-20 mA PARA TRANSMISOR DE TEMPERATURA	55
4.1.4. CIRCUITO 110 VAC A 0-24 VAC PARA ALIMENTACIÓN DE ACTUADOR	58
4.2. VÁLVULA DE CONTROL.....	58
CAPÍTULO 5	61
PRUEBAS Y PRE COMISIONADO	61
5.1. FORMATO DE DOCUMENTO	61
5.2. CONSIDERACIONES TÉCNICAS	62
CAPÍTULO 6	64
MANUALES DE USO Y CALIBRACIÓN	64
6.1. TRANSMISOR DE FLUJO	64
6.2. TRANSMISOR DE NIVEL	66
6.3. TRANSMISOR DE PRESIÓN	68
6.4. TRANSMISOR DE TEMPERATURA	70
6.5. VÁLVULA DE CONTROL.....	74
CAPÍTULO 7	77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
7.1. CONCLUSIONES.....	77
7.2. RECOMENDACIONES	79
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	81
ANEXOS	83

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 Esquema básico de un lazo de control
- Figura 2.2 Estructura interna básica de una válvula de control con obturador de movimiento lineal o circular
- Figura 3.1 Detalle de indicador en SFI-800 Sensor de Flujos
- Figura 3.2 Modo de funcionamiento de un transmisor de flujo por ultrasonido
- Figura 3.3 Diagrama de bloques de un transductor para sensor de nivel de ultrasonidos
- Figura 3.4 Sensor de presión de galga extensométrica constituida por transductores de presión de silicio difundido
- Figura 3.5 Montajes de RTD de dos y tres hilos
- Figura 3.6 Montaje de RTD de cuatro hilos
- Figura 3.7 Curvas características de válvulas de control en porcentaje de caudal contra apertura de la válvula
- Figura 4.1 Circuito de implementación del circuito integrado XTR117 para transformar un voltaje V_{in} en corriente de 4 a 20 mA
- Figura 4.2 Detalle de circuito generador de corriente de offset de 4 mA
- Figura 4.3 Circuito de implementación del circuito integrado XTR112 para transformar la señal de un RTD en corriente de 4 a 20 mA
- Figura 4.4 Circuito encargado de transformar 110 VAC a 24 VAC
- Figura 4.5 Detalle de la estructura desglosada de la válvula de control construida
- Figura 4.6 Válvula de control
- Figura 4.7 Detalle estructural de la válvula de control
- Figura 6.1 Sensor de flujo W.E Andersson A-712 y cables de conexión
- Figura 6.2 Estructura del acondicionador de señal para transmisor de flujo
- Figura 6.3 Estructura básica de un potenciómetro
- Figura 6.4 Estructura del acondicionador de señal para transmisor de nivel

- Figura 6.5 Conectores para alimentación y transmisión del FOXBORO 841 GM-D
- Figura 6.6 Estructura frontal del FOXBORO 841 GM-D con jumper en posición de cero
- Figura 6.7 Estructura frontal del FOXBORO 841 GM-D con jumper en posición de span
- Figura 6.8 RTD LOVE I-11062 de tres hilos
- Figura 6.9 Estructura del acondicionador de señal para transmisor de temperatura
- Figura 6.10 Detalle de placa de circuitos del actuador DC DCC-113
- Figura 6.11 Borneras de conexiones de actuador DC DDC-113
- Figura 6.12 Potenciómetros de calibración de actuador DC DDC-113
- Figura 6.13 Detalle de graduación externa en eje del actuador DC DDC-113
- Tabla 1 Propiedades térmicas de elementos
- Tabla 2 Características de circuito de implementación de XTR112

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En el semestre 01 del año 2008 fueron dictados los cursos de Análisis de Señales, Control Digital, Control inteligente, Control de Procesos y Sistemas SCADA dentro del marco de la carrera de Ingeniería Electrónica en Control. Estos cursos hacen parte de la formación integral de los estudiantes de Ingeniería.

Dentro de las instalaciones de la USFQ no se ha definido un laboratorio de control automático lo suficientemente completo donde los estudiantes puedan realizar las practicas de las asignaturas mencionadas anteriormente ni de las de control automático, sistemas dinámicos, control no lineal y automatismos industriales, sensores e instrumentación o instalaciones eléctricas. Además, los proyectos que desarrollan para las asignaturas no tienen continuidad y las maquetas terminan siendo material de desecho. Adicionalmente, en la actualidad se encuentran en proceso de terminar su carrera, un grupo de estudiantes de Ingeniería electrónica y de Ingeniería Mecánica; los cuales manifiestan su deseo de trabajar en sus proyectos de trabajo de grado en el área de control de procesos y sistemas.

Consecuentemente se desea integrar algunos de los proyectos anteriores y nuevos diseños de plantas junto con el conocimiento adquirido por los estudiantes en el desarrollo de dicho laboratorio, fomentando el trabajo en equipo, la

organización y el apoyo institucional; usando la mano de obra del estudiante con fines comunes.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir la instrumentación de un tanque continuamente agitado (CSTR) presurizado con intercambio de calor.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fundamentar teóricamente el funcionamiento de los sensores y actuadores utilizados en el proyecto.
- Seleccionar los principios de medición para sensores y actuadores que se utilizarán en el proyecto.
- Seleccionar el actuador y la válvula para el desarrollo de una válvula de control.
- Diseñar y construir las modificaciones estructurales y acoplamientos mecánicos necesarios.
- Construir los prototipos de los instrumentos y los circuitos acondicionadores de señal.
- Realizar pruebas mecánicas y eléctricas de los prototipos desarrollados.
- Realizar las respectivas pruebas de pre comisionado de los instrumentos de medida y actuadores.

- Redactar manuales de uso y calibración de los instrumentos desarrollados.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Para continuar con el proceso de posicionamiento del colegio Politécnico de la USFQ y sus carreras de Ingeniería Electrónica en control, Ingeniería Electrónica en telecomunicaciones e Ingeniería Eléctrica, se propone hacer uso del recurso humano e intelectual de los estudiantes en conjunción con el fomento de valores de trabajo en equipo y sentido de pertenencia a la USFQ mediante la construcción de un laboratorio piloto de control automático.

Dicho laboratorio servirá de eje para las prácticas de las asignaturas de la especialidad en control que actualmente se ofrece a las ingenierías del colegio politécnico. Esto hace que su desarrollo sea de vital importancia para la formación integral del ingeniero y su incorporación al medio laboral de la sociedad ecuatoriana. Asimismo sirve de plataforma para el desarrollo de destrezas y habilidades técnicas, tecnológicas y científicas de los Ingenieros en formación.

Particularmente, en este proyecto de tesis se involucra un estudiante de Ingeniería Mecánica proporcionándole además de lo anteriormente mencionado un carácter interdisciplinar.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. CONCEPTOS GENERALES

2.1.1. CONTROL DE PROCESOS

El objeto de todo proceso industrial será la obtención de un producto final, de unas características determinadas de forma que cumpla con las especificaciones y niveles de calidad exigidos por el mercado, cada día más restrictivos. Esta constancia en las propiedades del producto sólo será posible gracias a un control exhaustivo de las condiciones de operación, ya que tanto la alimentación al proceso como las condiciones del entorno son variables en el tiempo. La misión del sistema de control de proceso será corregir las desviaciones surgidas en las variables de proceso respecto de unos valores determinados, que se consideran óptimos para conseguir las propiedades requeridas en el producto producido.

El sistema de control nos permitirá una operación del proceso más fiable y sencilla, al encargarse de obtener unas condiciones de operación estables, y corregir toda desviación que se pudiera producir en ellas respecto a los valores de ajuste. [1]

La implantación de un adecuado sistema de control de proceso, que se adapte a las necesidades de nuestro sistema, significará una sensible mejora de la operación.

Principalmente los beneficios obtenidos serán:

- ✓ Incremento de la productividad
- ✓ Mejora de los rendimientos
- ✓ Mejora de la calidad
- ✓ Ahorro energético
- ✓ Control medioambiental
- ✓ Seguridad operativa
- ✓ Optimización de la operación del proceso/ utilización del equipo
- ✓ Fácil acceso a los datos del proceso

2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS

El control del proceso consistirá en la recepción de unas entradas, variables del proceso, su procesamiento y comparación con unos valores predeterminados por el usuario, y posterior corrección en caso de que se haya producido alguna desviación respecto al valor preestablecido de algún parámetro de proceso.

El bucle de control típico estará formado por los siguientes elementos, a los que habrá que añadir el propio proceso.

- ✓ Elementos de medida (Sensores) Generan una señal indicativa de las condiciones de proceso.
- ✓ Elementos de control lógico (Controladores): Leen la señal de medida, comparan la variable medida con la deseada (punto de

consigna) para determinar el error, y estabilizan el sistema realizando el ajuste necesario para reducir o eliminar el error.

- ✓ Elementos de actuación (Válvulas y otros elementos finales de control): Reciben la señal del controlador y actúan sobre el elemento final de control, de acuerdo a la señal recibida.

Esta serie de operaciones de medida, comparación, cálculo y corrección, constituyen un ciclo cerrado. El conjunto de elementos que hacen posible este control reciben el nombre de bucle de control (control loop). [1]

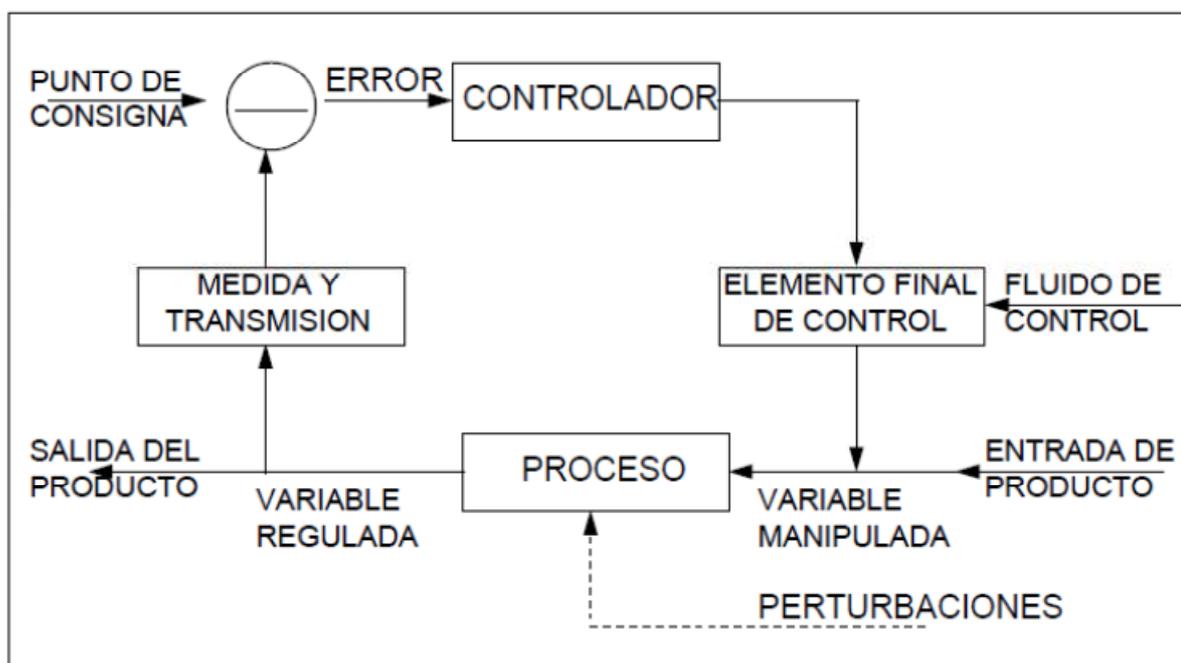


Figura 2.1 Esquema básico de un lazo de control

2.1.3. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

La instrumentación industrial la podemos entender como un conjunto de herramientas, parámetros y normas a seguir para el medición, regulación, observación, transformación, monitoreo y control de variables en un proceso.

Como ya podemos entender los primeros instrumentos a disposición del hombre han sido sus sentidos, pero conforme las magnitudes se extienden a niveles industriales es necesaria una gran precisión de medida para todas las variables que se utilizan y mientras el trabajo de instrumentación esté mejor ejecutado resultará también en una mayor calidad, eficiencia y volumen de producción. [2]

En la industria se presenta pues, repetidamente, la necesidad de conocer y entender el funcionamiento de los instrumentos y el papel que juegan dentro del control de procesos. Hoy en día es inimaginable la existencia de una industria moderna sin instrumentos.

2.1.4. INSTRUMENTOS

Los instrumentos de control empleados en las industrias de proceso tales como química, petroquímica, alimenticia, metalúrgica, energética, textil, papel, etc., tienen su propia terminología; los términos empleados definen las características propias de medida y de control y las estáticas y dinámicas de los diversos instrumentos utilizados, entre ellos indicadores, registradores, controladores, transmisores y válvulas de control. [2]

Además los instrumentos poseen varias propiedades de las que se pueden enunciar las siguientes:

- ✓ Campo de medida (range): Espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento; viene expresado estableciendo los dos valores extremos.
- ✓ Alcance (span): Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.
- ✓ Error: Es la diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida. Si el proceso está en condiciones de régimen permanente existe el llamado error estático. En condiciones dinámicas el error varía considerablemente debido a que los instrumentos tienen características comunes a los sistemas físicos: absorben energía del proceso y esta transferencia requiere cierto tiempo para ser transmitida, lo cual da lugar a retardos en la lectura del aparato.
- ✓ Incertidumbre de la medida (uncertainty): Los errores que existen necesariamente al realizar la medida de una magnitud, hacen que se tenga una incertidumbre sobre el verdadero valor de la medida. La incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida.

- ✓ Exactitud: Es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.
- ✓ Precisión (accuracy): La precisión es la tolerancia de medida o de transmisión del instrumento (intervalo donde es admisible que se sitúe la magnitud de la medida), y define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un período de tiempo determinado (normalmente 1 año).
- ✓ Zona muerta (dead zone o dead band): Es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida.
- ✓ Sensibilidad (sensitivity): Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo.
- ✓ Repetibilidad (repeatability): La repetibilidad es la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice o de la señal de salida, del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo.
- ✓ Histéresis (hysteresis): La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida,

cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente.

2.1.5. VARIABLES DE CONTROL DE PROCESOS

En instrumentación toda variable es susceptible de ser medida, almacenada, modificada y por último controlada, sean estas caudal, nivel, presión, temperatura, densidad y peso específico, humedad y punto de rocío, viscosidad, posición, velocidad, pH, conductividad, frecuencia, fuerza, turbidez, etc.

Sin embargo por su más amplia utilización se toman en cuenta como variables principales de control en la industria al flujo, nivel, presión y temperatura.

2.2. PRINCIPIOS DE MEDICIÓN EN INSTRUMENTACIÓN

2.2.1. FLUJO

PRESIÓN DIFERENCIAL

Presión diferencial es uno de los métodos más antiguos y más utilizados en la industria para medición de flujos, este método mide el volumen en lugar del flujo másico el cual puede ser luego encontrando conociendo la temperatura y la presión.

El principio fundamental de funcionamiento muestra que una restricción produce una presión diferencial en el elemento que es proporcional al flujo. Dicha proporcionalidad no es lineal pero tiene una relación cuadrática, es decir, el flujo es proporcional a la raíz cuadrada del diferencial de presión. [3]

ROTÁMETRO

El rotámetro es un medidor de flujo que consiste de un tubo con área variable y un flotador libre de moverse arriba o abajo en el tubo. El flujo a medir ingresa por la parte inferior y pasa alrededor del flotador hasta salir por la parte superior.

Mientras el flujo cambie el flotador subirá o bajará variando el área anular que queda entre el flotador y las paredes del tubo. El tubo es fabricado con sección variable incremental para mantener una relación lineal entre la posición del flotador y el flujo. [3]

MAGNÉTICO

Los medidores de flujo magnético utilizan la Ley de Inducción de Faraday la cual enuncia que un potencial eléctrico es desarrollado por el movimiento relativo de ángulos rectos entre un conductor y un campo magnético. En este caso, tenemos un flujo conductor eléctrico en movimiento. El sensor consiste de un tubo aislado con dos electrodos colocados opuestamente a lo largo del mismo para generar un campo magnético. Al momento que nuestro fluido atraviese este campo, se generará un voltaje perpendicular al campo que será receptado para la medición del flujo. Este voltaje es en realidad proporcional a la velocidad promedio del flujo por lo cual esta solución nos presenta ciertas ventajas como las siguientes:

- ✓ No importa si el fluido es laminar o turbulento

- ✓ No hay obstrucciones en el flujo del fluido
- ✓ Se puede medir elementos corrosivos o de difícil uso

TURBINA

El sensor de flujo de turbina consiste en un tubo recto dentro del cual se encuentra una turbina que rota libremente en el eje longitudinal del flujo. La velocidad del flujo genera una fuerza que será ejercida sobre las aspas de la turbina que girará proporcionalmente a la velocidad del fluido. Un sistema Pick Up magnético será el encargado de sensor el movimiento de la turbina a través de la pared del tubo. Cada vez que un aspa del rotor pasa por el pick up magnético, se induce un pulso de voltaje AC, entonces cada pulso representa una cantidad de fluido.

OBJETIVO

El sensor de flujo de objetivo basa su método de medida en colocar un disco también llamado objetivo en el centro de la línea de flujo, el cual estará direccionado con ángulos rectos a la dirección del flujo. El flujo entonces desarrollará una fuerza en el objetivo o disco que es proporcional al cuadrado del flujo. [3]

VORTEX

El medidor de caudal por torbellino se basa en la determinación de la frecuencia del torbellino producido por una hélice estática situada dentro de la

tubería a cuyo través pasa el fluido (líquido o gas). La frecuencia del torbellino es proporcional a la velocidad del fluido.

ULTRASONIDO

Los transductores de ultrasonidos miden el caudal por diferencia de velocidades del sonido al propagarse éste en el sentido del flujo del fluido y en el sentido contrario. Los sensores están situados en una tubería de la que se conocen el área y el perfil de velocidades.

DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Los medidores de desplazamiento positivo miden el caudal en volumen contando o integrando volúmenes separados del líquido. Las partes mecánicas del instrumento se mueven aprovechando la energía del fluido y dan lugar a una pérdida de carga. La precisión depende de los huelgos entre las partes móviles y las fijas y aumenta con la calidad de la mecanización y con el tamaño del instrumento.

2.2.2. NIVEL

DESPLAZAMIENTO Y FLOTADORES

Es uno de los métodos de medición de nivel más comunes y más utilizados. Su operación se basa en el principio de Arquímedes el cual enuncia que un cuerpo

sumergido en un líquido será empujado por una fuerza igual al peso del líquido desplazado.

El cuerpo sumergido en este caso se llamará desplazador, el cual siempre pesa más que la fuerza boyante que deberá ser desarrollada por el líquido en el cual es sumergido. Estos desplazadores son usualmente construidos de manera cilíndrica para que con un mismo incremento en la profundidad de la sumersión se dé un mismo incremento en la fuerza boyante, guardando de esta manera una proporción lineal o proporcional deseada. Por lo general los desplazadores son construidos huecos en el centro y llenados de plomo o algún otro material para propósitos de peso y medida.

PRESIÓN DIFERENCIAL

El medidor de presión diferencial consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. En un tanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico.

En el tipo más utilizado, el diafragma está fijado en una brida que se monta rasante al tanque para permitir sin dificultades la medida de nivel de fluidos, tales como pasta de papel y líquidos con sólidos en suspensión, pudiendo incluso ser de montaje saliente para que el diafragma enrase completamente con las paredes interiores del tanque. [3]

CAPACITIVOS

Miden la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido.

En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores.

En fluidos conductores con una conductividad mínima de 100 microhmios el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas.

RESISTIVOS

Consiste en uno o varios electrodos y un relé eléctrico o electrónico que es excitado cuando el líquido moja a dichos electrodos. El líquido debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el circuito electrónico, y de este modo el aparato puede discriminar la separación entre el líquido y su vapor, tal como ocurre, por ejemplo, en el nivel de agua de una caldera de vapor. [3]

ULTRASÓNICOS

Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 kHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido.

RADIOACTIVOS

Consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del tanque y con un contador Geiger que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua. Como la transmisión de los rayos es inversamente proporcional a la masa del líquido en el tanque, la radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del líquido ya que el material absorbe parte de la energía emitida.

Los rayos emitidos por la fuente son similares a los rayos X, pero de longitud de onda más corta. La fuente radiactiva pierde igualmente su radiactividad en función exponencial del tiempo. La vida media (es decir, el tiempo necesario para que el emisor pierda la mitad de su actividad) varía según la fuente empleada.

2.2.3. PRESIÓN

MECÁNICOS Y NEUMÁTICOS

Los elementos primarios elásticos más empleados son: el tubo Bourdon, el diafragma y el fuelle.

El tubo Bourdon

Es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón. La ley de deformación del tubo Bourdon es bastante compleja y ha sido determinada empíricamente a través de numerosas observaciones y ensayos en varios tubos.

El material empleado normalmente en el tubo Bourdon es de acero inoxidable, aleación de cobre o aleaciones especiales como hastelloy y monel. El elemento en espiral se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice. Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y por ello, son ideales para los registradores.

El diafragma

Consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada cápsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas. El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo más amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el cero del instrumento. El material del diafragma es normalmente aleación de níquel o inconel x. Se utiliza para pequeñas presiones.

El fuelle

Es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable. Hay que señalar que los elementos de fuelle se caracterizan por su larga duración, demostrada en ensayos en los que han soportado sin deformación alguna millones de ciclos de flexión. El material empleado para el fuelle es usualmente bronce fosforoso y el muelle es tratado térmicamente para mantener fija su constante de fuerza por unidad de compresión. Se emplean para pequeñas presiones. [3]

ELECTROMECAÑICOS

Resistivos

Consisten en un elemento elástico (tubo Bourdon o cápsula) que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. El potenciómetro puede adoptar la forma de un solo hilo continuo o bien estar arrollado a una bobina siguiendo un valor lineal o no de resistencia.

El movimiento del elemento de presión se transmite a un brazo móvil aislado que se apoya sobre el potenciómetro de precisión. Éste está conectado a un circuito de puente de Wheatstone.

Magnéticos

Funcionan con el desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la inductancia de ésta en forma casi proporcional a la porción metálica del núcleo contenida dentro de la bobina.

El devanado de la bobina se alimenta con una corriente alterna y la f.e.m. de autoinducción generada se opone a la f.e.m. de alimentación, de tal modo que al ir penetrando el núcleo móvil dentro de la bobina la corriente presente en el circuito se va reduciendo por aumentar la f.e.m. de autoinducción.

Tienen las siguientes ventajas: no producen rozamiento en la medición, tienen una respuesta lineal, son pequeños y de construcción robusta y no precisan ajustes críticos en el montaje.

Capacitivos

Se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas. De este modo se tienen dos condensadores uno de capacidad fija o de referencia y el otro de capacidad variable, que pueden compararse en circuitos oscilantes o bien en circuitos de puente de Wheatstone alimentados con corriente alterna.

Los transductores capacitivos se caracterizan por su pequeño tamaño y su construcción robusta, tienen un pequeño desplazamiento volumétrico y son adecuados para medidas estáticas y dinámicas.

Extensométricos

Se basan en la variación de longitud y de diámetro, y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia o galga se encuentra sometida a una tensión mecánica por la acción de una presión.

La galga forma parte de un puente de Wheatstone y cuando está sin tensión tiene una resistencia eléctrica determinada. Se aplica al circuito una tensión nominal tal que la pequeña corriente que circula por la resistencia crea una caída de tensión en la misma y el puente se equilibra para estas condiciones.

Piezoeléctricos

Los elementos piezoeléctricos son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta. Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas, al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Tienen la desventaja de ser sensibles a los cambios en la temperatura y de experimentar deriva en el cero y precisar ajuste de impedancias en caso de fuerte choque. [3]

2.2.4. TEMPERATURA

TERMOCUPLAS

También conocida como termopar, se basa en el efecto descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura. Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thompson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

RESISTANCE TEMPERATURE DETECTORS (RTDs)

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado “coeficiente de temperatura de resistencia” que expresa a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

SISTEMAS RELLENOS

Los termómetros tipo bulbo consisten esencialmente en un bulbo conectado por un capilar a una espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o el líquido en el bulbo se expanden y la espiral tiende a desenrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo. Los hay activados o rellenos de líquidos, de vapor, de gas o de mercurio.

PIRÓMETRO RADIATIVO

Los pirómetros de radiación se fundan en la ley de Stefan-Boltzmann, que dice que la intensidad de energía radiante (en J /s por unidad de área) emitida por la superficie de un cuerpo, aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta (Kelvin) del cuerpo, es decir,

$$W = ET^4 \quad (2.1)$$

Los pirómetros de radiación miden, pues, la temperatura de un cuerpo a distancia en función de su radiación. Los instrumentos que miden la temperatura de un cuerpo en función de la radiación luminosa que éste emite, se denominan pirómetros ópticos de radiación parcial o pirómetros ópticos y los que miden la temperatura captando toda o una gran parte de la radiación emitida por el cuerpo, se llaman pirómetros de radiación total.

PIRÓMETRO ÓPTICO

Los pirómetros ópticos manuales se basan en la desaparición del filamento de una lámpara al compararlo visualmente con la imagen del objeto enfocado. Los pirómetros ópticos automáticos consisten esencialmente en un disco rotativo que modula desfasadas la radiación del objeto y la de una lámpara estándar que inciden en un fototubo multiplicador.

Éste envía una señal de salida en forma de onda cuadrada de impulsos de corriente continua que convenientemente acondicionada modifica la corriente de alimentación de la lámpara estándar hasta que coinciden en brillo la radiación del objeto y la de la lámpara. En este momento, la intensidad de corriente que pasa por la lámpara es función de la temperatura.

TERMÓMETRO BIMETÁLICO

Los termómetros bimetálicos se fundan en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de ferroníquel o Invar (35,5 % de níquel) laminados conjuntamente. Las láminas bimetálicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices.

Un termómetro bimetálico típico contiene pocas partes móviles, sólo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral o de la hélice y el propio elemento bimetálico. [3]

2.3. ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

Un elemento final de control es un mecanismo que altera el valor de la variable manipulada en respuesta a una señal de salida desde el dispositivo de control automático; típicamente recibe una señal del controlador y manipula un flujo de material o energía para el proceso. El elemento final de control puede ser una válvula de control, variadores de frecuencia y motores eléctricos, una servoválvula, un relé, elementos calefactores de carácter eléctrico o un amortiguador. El elemento final de control consta generalmente de dos partes:

- ✓ Un actuador que convierte la señal del controlador en un comando para el dispositivo manipulador.
- ✓ Un mecanismo para ajustar la variable manipulada

El presente proyecto se centrará en analizar los distintos tipos de válvulas de control que encontramos en el mercado debido a que la aplicación hace uso de ese tipo de mecanismos. [4]

2.3.1. ACTUADORES

Un actuador es un dispositivo que aplica una fuerza (torque) necesario para causar que el órgano de cierre de una válvula o instrumento final de control se mueva. Los actuadores deben superar la presión y las fuerzas de flujo, fricción de los empaques, cojinetes o guías de las superficies, sellos, y proporcionar la fuerza de asentamiento. Cuando tenemos válvulas rotativas el nivel máximo de fricción

aparece en la posición de cerrado y el momento necesario para superarla se lo conoce como torque de apertura. El torque generado en el eje por las fuerzas de presión y el fluido en estado estable se lo conoce como torque dinámico.

Los actuadores a menudo proporcionan una función failsafe. En caso de una interrupción en la fuente de alimentación, el actuador colocará la válvula en una posición segura predeterminada, generalmente es completamente abierto o completamente cerrado. Los sistemas de la seguridad a menudo están diseñados para accionar el failsafe local en ciertas válvulas específicas si se necesita sin la necesidad de parar la planta o el proceso.

Los actuadores son clasificados según su fuente de alimentación. La naturaleza de estas fuentes nos lleva a características de diseño y rendimiento distintas.

NEUMÁTICOS

Sin importar la disponibilidad de alternativas más sofisticadas, los actuadores neumáticos son todavía los más populares en la industria. Puede afirmarse que el 90 % de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Históricamente el diseño más común ha sido el de resorte y diafragma, donde la señal de aire comprimido llena una cámara sellada por un diafragma. La fuerza aplicada al plato del diafragma causa que el resorte se comprima y que el actuador se accione. En este caso el resorte provee la función failsafe y ayuda a dar estabilidad dinámica al actuador. El resorte también provee una relación proporcional entre la fuerza generada por el aire y la posición del vástago.

Las mayores ventajas del actuador de resorte y diafragma son su alta fidelidad, bajo costo, respuesta dinámica adecuada y la acción failsafe, las cuales son inherentes en su simple diseño.

CONVERSIÓN DE MOVIMIENTO

Los actuadores que producen salidas translacionales pueden adaptarse a válvulas rotativas que generalmente necesitan 90° o menos de rotación. Una palanca se une al eje de rotación y un enlace con pivoteo en el extremo se conecta a la salida lineal del actuador. Esto nos ayuda a transformar un movimiento rotativo en un movimiento lineal, muy utilizado en los intercambiadores de calor. Un problema con este principio es que el torque puede variar bastante con el recorrido.

HIDRÁULICO

Consisten en una bomba de accionamiento eléctrico que suministra fluido hidráulico a una servoválvula. La señal del instrumento de control actúa sobre la servoválvula que dirige el fluido hidráulico a los dos lados del pistón actuador hasta conseguir, mediante una retroalimentación, la posición exacta de la válvula. Se caracterizan por ser extremadamente rápidos, potentes y suaves, si bien su coste es elevado, por lo que sólo se emplean cuando los servomotores neumáticos no pueden cumplir con las especificaciones de servicio.

ELÉCTRICO

El servomotor eléctrico es un motor eléctrico acoplado al vástago de la válvula a través de un tren de engranajes. El motor se caracteriza fundamentalmente por su par y por el tiempo requerido (usualmente de uno a dos minutos) para hacer pasar la válvula de la posición abierta a la cerrada o viceversa.

MANUAL

En los casos en que se exige la máxima seguridad de funcionamiento de una instalación y el proceso debe continuar trabajando independientemente de las averías que puedan producirse en el bucle de control es necesario mantener un control de la apertura de la válvula en condiciones de fallo de aire u otro tipo de accionamiento. [3]

2.3.2. VÁLVULAS DE CONTROL

En el control automático de los procesos industriales la válvula de control juega un papel muy importante en el bucle de regulación. Realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable. Dentro del bucle de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador. En la figura siguiente puede verse una válvula de control típica. Se compone básicamente del cuerpo y del servomotor. [4]

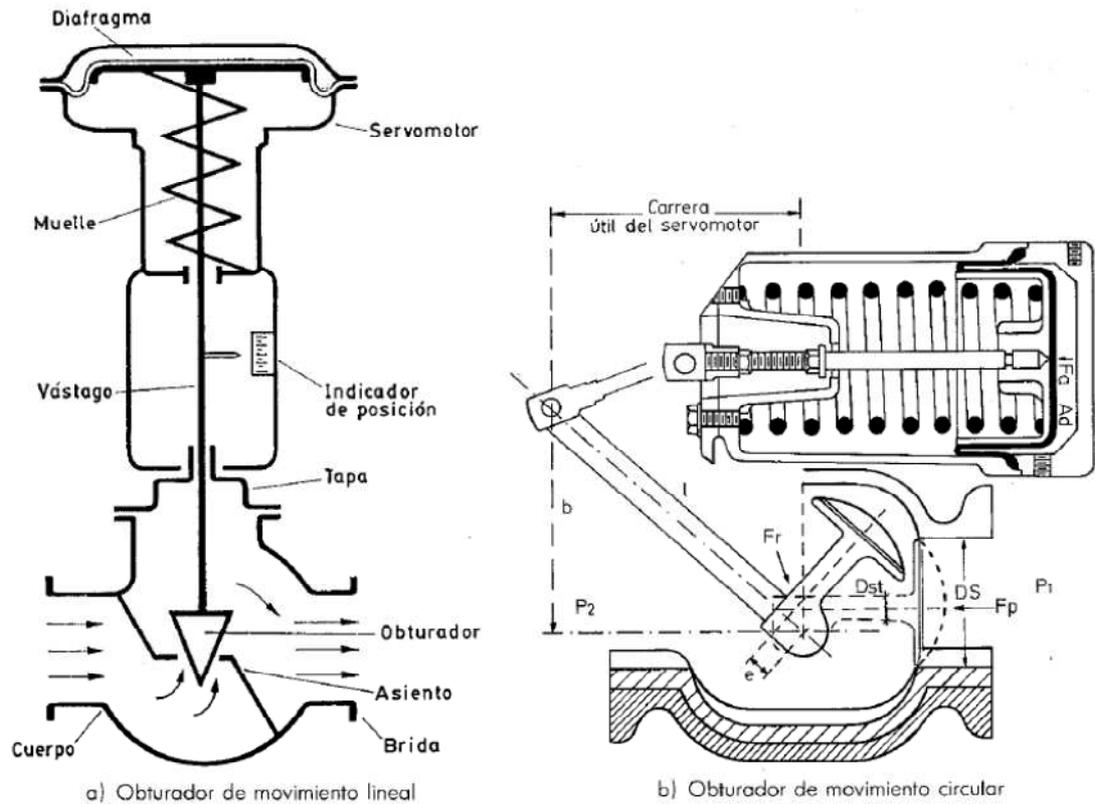


Figura 2.2 Estructura interna básica de una válvula de control con obturador de movimiento lineal o circular

El cuerpo de la válvula contiene en su interior el obturador y los asientos y está provisto de rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador es quien realiza la función de control de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo. Está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor.

A continuación enunciaremos los distintos tipos de válvulas utilizadas para el control en la industria.

VÁLVULA DE GLOBO

Las hay de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado. Las válvulas de simple asiento precisan de un actuador de mayor tamaño para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso. Por lo tanto, se emplean cuando la presión del fluido es baja y se precisa que las fugas en posición de cierre sean mínimas. El cierre estanco se logra con obturadores provistos de una arandela de teflón. En la válvula de doble asiento o de obturador equilibrado la fuerza de desequilibrio desarrollada por la presión diferencial a través del obturador es menor que en la válvula de simple asiento. Por este motivo se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. En posición de cierre las fugas son mayores que en una válvula de simple asiento.

VÁLVULA EN ÁNGULO

Esta válvula permite obtener un flujo de caudal regular sin excesivas turbulencias y es adecuada para disminuir la erosión cuando ésta es considerable por las características del fluido o por la excesiva presión diferencial.

El diseño de la válvula es idóneo para el control de fluidos que vaporizan (flashing), para trabajar con grandes presiones diferenciales y para los fluidos que contienen sólidos en suspensión.

VÁLVULA DE TRES VÍAS

Este tipo de válvula se emplea generalmente para mezclar fluidos o bien para derivar de un flujo de entrada dos de salida. Las válvulas de tres vías intervienen típicamente en el control de temperatura de intercambiadores de calor.

VÁLVULA DE JAULA

Consiste en un obturador cilíndrico que desliza en una jaula con orificios adecuados a las características de caudal deseadas en la válvula. Se caracterizan por el fácil desmontaje del obturador y porque éste puede incorporar orificios que permiten eliminar prácticamente el desequilibrio de fuerzas producido por la presión diferencial favoreciendo la estabilidad del funcionamiento. Por este motivo, este tipo de obturador equilibrado se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. Como el obturador está contenido dentro de la jaula, la válvula es muy resistente a las vibraciones y al desgaste.

Por otro lado, el obturador puede disponer de aros de teflón que, con la válvula en posición cerrada, asientan contra la jaula y permiten lograr así un cierre hermético.

VÁLVULA DE COMPUERTA

Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición es adecuada generalmente para control todo-nada, ya que en posiciones intermedias

tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando está en posición de apertura total.

VÁLVULA EN Y

Es adecuada como válvula de cierre y de control. Como válvula todo-nada se caracteriza por su baja pérdida de carga y como válvula de control presenta una gran capacidad de caudal. Posee una característica de autodrenaje cuando está instalada inclinada con un cierto ángulo. Se emplea usualmente en instalaciones criogénicas.

VÁLVULA DE CUERPO PARTIDO

Esta válvula es una modificación de la válvula de globo de simple asiento teniendo el cuerpo partido en dos partes entre las cuales está presionado el asiento. Esta disposición permite una fácil sustitución del asiento y facilita un flujo suave del fluido sin espacios muertos en el cuerpo. Se emplea principalmente para fluidos viscosos y en la industria alimentaria.

VÁLVULA SAUNDERS

En la válvula Saunders el obturador es una membrana flexible que a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra un resalte del cuerpo cerrando así el paso del fluido.

La válvula se caracteriza porque el cuerpo puede revestirse fácilmente de goma o de plástico para trabajar con fluidos agresivos. Tiene la desventaja de que

el servomotor de accionamiento debe ser muy potente. Se utiliza principalmente en procesos químicos difíciles, en particular en el manejo de fluidos negros o agresivos o bien en el control de fluidos conteniendo sólidos en suspensión.

VÁLVULA DE COMPRESIÓN

Esta válvula funciona mediante el pinzamiento de dos o más elementos flexibles, por ejemplo, un tubo de goma. Igual que las válvulas de diafragma se caracterizan porque proporcionan un óptimo control en posición de cierre parcial y se aplican fundamentalmente en el manejo de fluidos negros corrosivos, viscosos o conteniendo partículas sólidas en suspensión.

VÁLVULA DE MARIPOSA

El cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular. La válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo. Un servomotor exterior acciona el eje de giro del disco y ejerce su par máximo cuando la válvula está totalmente abierta (en control todo-nada se consideran 90° y en control continuo 60° , a partir de la posición de cierre ya que la última parte del giro es bastante inestable), siempre que la presión diferencial permanezca constante.

Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión.

VÁLVULA DE BOLA

El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola. La bola tiene un corte adecuado que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75 % del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

VÁLVULA DE ORIFICIO AJUSTABLE

El obturador de esta válvula consiste en una camisa de forma cilíndrica que está perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida y que gira mediante una palanca exterior accionada manualmente o por medio de un servomotor. El giro del obturador tapa parcial o totalmente las entradas y salidas de la válvula controlando así el caudal. La válvula incorpora además una tajadera cilíndrica que puede deslizarse dentro de la camisa gracias a un macho roscado de accionamiento exterior. La tajadera puede así fijarse manualmente en una posición determinada para limitar el caudal máximo.

La válvula es adecuada en los casos en que es necesario ajustar manualmente el caudal máximo del fluido, cuando el caudal puede variar entre límites amplios de forma intermitente o continua y cuando no se requiere un cierre

estanco. Se utiliza para combustibles gaseosos o líquidos, vapor, aire comprimido y líquidos en general.

VÁLVULA DE FLUJO AXIAL

Las válvulas de flujo axial consisten en un diafragma accionado neumáticamente que mueve un pistón, el cual a su vez comprime un fluido hidráulico contra un obturador formado por un material elastómero. De este modo, el obturador se expande para cerrar el flujo anular del fluido. Este tipo de válvulas se emplea para gases y es especialmente silencioso.

Otra variedad de la válvula de flujo axial es la válvula de manguito, que es accionada por compresión exterior del manguito a través de un fluido auxiliar a una presión superior a la del propio fluido. Se utiliza también para gases. [3]

CAPÍTULO 3

SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Para el presente proyecto de instrumentación de un tanque continuamente agitado (CSTR) presurizado con intercambio de calor se debe tener en cuenta las variables a utilizar para su futuro control así como el presupuesto otorgado por la universidad para la construcción y adquisición de equipos, todo esto sin dejar de lado la aplicación en sí de la planta. El CSTR que se construirá a futuro tiene como características un cuerpo cilíndrico de acero de 1 m de alto por 60 cm de diámetro rodeado por un serpentín que será su intercambiador de calor. Tendrá como objetivo la experimentación e investigación de reacciones dentro del laboratorio de control de la Universidad San Francisco de Quito.

La instrumentación utilizada en la planta deberá ir conectada a entradas y salidas análogas ubicadas en un módulo de expansión de un PLC que a su vez forma parte del sistema SCADA del laboratorio anteriormente desarrollado, todas con comunicación de 4 a 20 mA, un estándar ampliamente utilizado en la industria. Además toda la instrumentación tiene dos tipos de alimentación que se podría utilizar, alimentación de 110 VAC instalada a lo largo del laboratorio o se podría hacer uso de dos fuentes de 24 VDC que están a disposición como módulos del PLC. El presente tanque reactor deberá soportar presiones superiores a los 150 PSI y de igual manera temperaturas mayores a los 100°C. El flujo que tendremos será aquel impulsado por una bomba y podría llegar a medidas tan altas como 10 GPM. Por último todas las líneas y válvulas estarán

estandarizadas a $\frac{1}{2}$ pulgada de sección. Con todo esto a consideración se procederá a explicar los métodos de medición de los instrumentos seleccionados.

3.2. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS

3.2.1. FLUJO

Encontrar un transmisor de flujo en el mercado local o internacional de bajo precio es una tarea muy difícil, sea cual sea su principio de medida. Para la presente aplicación se utilizará un indicador de flujo plástico que tendrá adjunto un transmisor de flujo magnético. Se trata del SFI-800 construido por Dwyer Instruments.

La parte mecánica de este dispositivo es un indicador de desplazamiento positivo de $\frac{1}{2}$ NPT y estará montado en la línea de alimentación del CSTR. Como se enunció en el segundo capítulo, los medidores de flujo de desplazamiento positivo miden el caudal en volumen contando o integrando volúmenes separados del líquido, también se enunció que las partes mecánicas del instrumento se mueven aprovechando la energía del fluido por lo que hay una pequeña pérdida de carga, casi imperceptible en el presente caso debido a la baja fricción del rotor y su tamaño reducido. En el presente sensor se puede distinguir un rotor que girará conforme la dirección del flujo.



Figura 3.1 Detalle de indicador en SFI-800 Sensor de Flujos

La parte electrónica de este transmisor funciona con un transductor de impulsos por sensor magnético vendido como un accesorio. Se aprovecha el rotor que posee unos pequeños imanes embebidos en él y el captador magnético referido situado en el exterior de la caja del rotor. Al girar el rotor los pequeños imanes que contiene cortan el flujo del captador generando un tren de ondas sinusoidales de impulsos que es amplificado y acondicionado obteniéndose así impulsos de ondas cuadradas aptos para circuitos convertidores o integradores. En el presente caso existirá una salida de 1 a 10 VDC como resultado de este transductor, la señal luego tendrá que ser acondicionada al estándar de lazo industrial de 4 a 20 mA.

El material con el que está construido es un polímero resistente a temperaturas superiores a 100 °C, 150 PSI de presión, y tiene un rango de medida de 2 a 20 GPM, lo cual nos permite utilizarlo tanto como instrumento de medición de entrada y salida de caudal del CSTR.

3.2.2. NIVEL

El transmisor de nivel es la pieza más costosa del proyecto debido a que demandaba características bastante puntuales y necesarias. La construcción de un dispositivo tipo flotador era la primera solución sin embargo los materiales a utilizarse, precisión y método de montaje limitaron su ejecución. Al ser un tanque reactor en donde los procesos se pueden realizar a temperaturas superiores a los 100 C con posible aparición de burbujas se necesitaba una alta robustez en los equipos que permita larga repetitividad y facilidad de mantenimiento.

Además su forma cilíndrica limitaba la instalación de boyas. Se procedió entonces a buscar en el mercado un transmisor de nivel de bajo precio que se adaptara a las necesidades de la planta y se encontró una solución con el transmisor de nivel Flowline Echopod, una solución para tanques pequeños con transmisor de 4 a 20 mA incluido. Trabaja con un software propietario para su calibración.

Este transmisor de nivel puede sensor hasta 1.25 m de altura lo cual lo hace ideal para la planta que se desea implementar, su montaje se realiza en la parte superior de un tubo gemelo conectado por vasos comunicantes al tanque que evitará la formación de burbujas y bajará la temperatura en el elemento sensor, consideración que se muestra en el P&ID de la planta en la sección de anexos. Esto es muy necesario pues no se encuentran en el mercado sensores de nivel que soporten más de 100 °C y cuesten menos de 1000 USD. Su construcción es de un polímero capaz de soportar temperaturas hasta 70 °C.

Su principio de funcionamiento es el ultrasonido se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del

mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque. El montaje se realiza de la forma mostrada en la Figura 3.2 a continuación.

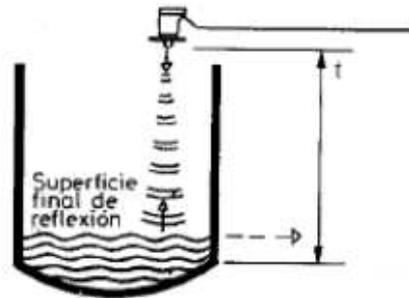


Figura 3.2 Modo de funcionamiento de un transmisor de flujo por ultrasonido

Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 kHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido. En la Figura 3.3 puede verse el diagrama de bloques de un sistema de medida de ultrasonidos. El sensor emisor dispone de un oscilador excitador para enviar un impulso ultrasónico a la superficie del fluido y el sensor receptor recibe esta señal reflejada enviando una señal función del tiempo transcurrido, y por lo tanto del nivel, a un oscilógrafo o a un indicador.

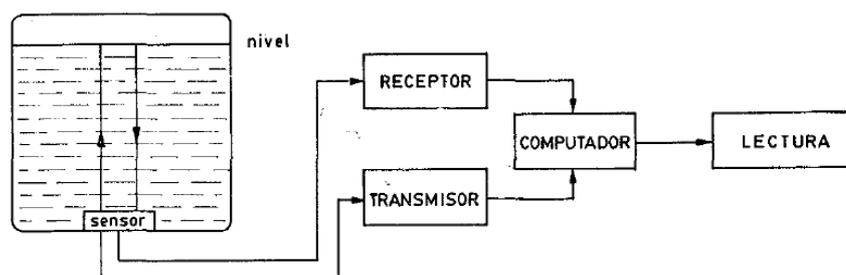


Figura 3.3 Diagrama de bloques de un transductor para sensor de nivel de ultrasonidos

Además de la recomendación de compra de este dispositivo se procedió a la construcción de un transmisor de nivel de tipo flotador para aplicaciones no presurizadas.

Se dispone entonces de un tanque que se llenará principalmente con agua. En el tanque se adecua una boya que flota sobre el nivel del líquido, la boya tiene un brazo de palanca sujeta a un eje de un potenciómetro de 30 k Ω . El brazo al moverse genera un arco de circunferencia que se considera aproximadamente igual a la altura de la boya (del líquido).

El potenciómetro está alimentado en sus patas extremas con una fuente de voltaje de 24 VDC. La tercera pata es salida del potenciómetro, la cual puede proveer de un voltaje variable entre 0 VDC y 24 VDC, pero el rango de medida se limita a dos voltios que luego con ayuda de un circuito acondicionador de señal dará la salida deseada de 4 a 20 mA. Cuando el nivel de agua es cero la boya se encuentra en el fondo del tanque y el voltaje de salida del potenciómetro también es cero, a medida que se eleva la boya ya sea manualmente o por acción del líquido, el voltaje también aumenta de forma aproximadamente lineal. La ecuación que relaciona la altura con el voltaje es la siguiente y se encontró de manera experimental:

$$h(cm) = 17.4 * V(Voltios) \quad (3.1)$$

3.2.3. PRESIÓN

El transmisor de presión seleccionado es el Foxboro 841 GM Series. Este transmisor es de mi propiedad y estaba en desuso por lo que se lo recicló, readecuó y calibró para usarlo en el presente proyecto. Su código completo es 841GM-D lo cual indica que es una serie que tiene sus rangos de trabajo un poco elevados, sin embargo lo podemos calibrar en laboratorio con ayuda de un compresor para simular la presión y la herramienta FLUKE 789. El objetivo fue hacerlo trabajar a su mínimo rango de trabajo que es entre 0 y 250 PSI.

Este transmisor se encuentra discontinuado en la actualidad pero ha sido utilizado ampliamente en la industria local, su precio puede ser bastante elevado pero con mantenimiento adecuado y buena calibración se lo pudo recuperar para que funcione de manera correcta. Este transmisor emite directamente señales análogas de 4 a 20 mA por lo cual no fue necesario construir un circuito que acondicione la señal de salida como ocurre con otros instrumentos en uso. Su límite de temperatura de trabajo nos indica que podría funcionar a los 120°C, superando ampliamente la temperatura de trabajo del sistema.

El presente instrumento funciona bajo el principio de galgas extensométricas y se basan en la variación de longitud y de diámetro, y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión. En realidad el presente instrumento presenta una innovación de la galga extensométrica constituida por transductores de presión de silicio difundido.

Consisten en un elemento de silicio situado dentro de una cámara conteniendo silicona que está en contacto con el proceso a través de un

diafragma flexible. El sensor está fabricado a partir de un monocristal de silicio en cuyo seno se difunde boro para formar varios puentes de Wheatstone constituyendo así una galga extensométrica autocontenida. El espesor del sensor determina el intervalo de medida del instrumento.

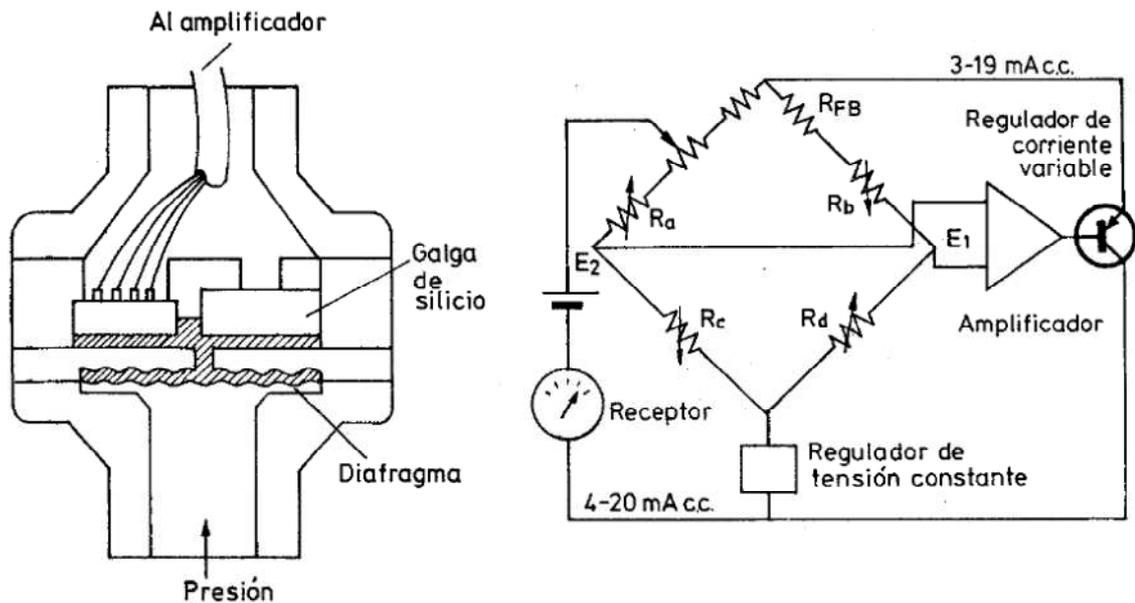


Figura 3.4 Sensor de presión de galga extensométrica constituida por transductores de presión de silicio difundido

El sensor con su puente Wheatstone incorporado forma parte del circuito de la figura anterior. Cuando no hay presión, las tensiones E_1 y E_2 son iguales y, al aplicar la presión del proceso R_b y R_c disminuyen su resistencia y R_a y R_d la aumentan dando lugar a caídas de tensión distintas y a una diferencia entre E_1 y E_2 .

Esta diferencia se aplica a un amplificador diferencial de alta ganancia que controla un regulador de corriente variable. Un margen de corriente continua de 3 a 19 mA con 1 mA del puente produce una señal de salida de 4 a 20 mA DC.

Esta corriente circula a través de la resistencia de realimentación R_{FB} y produce una caída de tensión que equilibra el puente. Como esta caída es proporcional a R_{FB} , esta resistencia fija el alcance de medida (span) del transductor. El cero del instrumento se varía intercalando resistencias fijas en el brazo izquierdo del puente (cero basto) y un potenciómetro en el brazo derecho (cero fino).

3.2.4. TEMPERATURA

Una solución robusta y fiable para medir altas temperaturas en posibles ambientes de alta presión de forma confiable y con coste moderado es utilizar un RTD. La medida de temperatura utilizando estas sondas depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección. El platino es el material más adecuado desde el punto de vista de precisión y de estabilidad pero presenta el inconveniente de su coste. En general la sonda de resistencia de platino utilizada en la industria tiene una resistencia de 100 ohmios a 0°C . En el presente proyecto utilizamos este tipo de sondas RTD también llamadas PT-100.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado coeficiente de temperatura de resistencia, que expresa a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

La relación entre estos factores puede verse en la expresión lineal siguiente:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (3.2)$$

En la que:

R_0 = resistencia en ohmios a 0°C

R_t = resistencia en ohmios a t°C

α = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0° y 100°C es de $0,003850 \cdot \Omega \cdot \Omega^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$ en la Escala Práctica de Temperaturas Internacional (IPTS-68).

Para nuestra aplicación y calibración del circuito de transmisión del RTD a construir utilizaremos las tablas estandarizadas de valores de resistencia según la temperatura en °C para las sondas de resistencia PT 100 con coeficiente de variación de resistencia 0,00385 según DIN 43.760 (IPTS-68), ver anexos.

En la siguiente tabla podemos ver una comparativa de las características de RTDs dependiendo de su material de composición.

<i>Metal</i>	<i>Resistividad $\mu\Omega/\text{cm}$</i>	<i>Coeficiente temp. $\Omega/\Omega, \text{°C}$</i>	<i>Intervalo útil de temp. °C</i>	<i>\varnothing mín. de hilo mm</i>	<i>Coste relativo</i>	<i>Resis. sonda a 0° C, ohmios</i>	<i>Preci- sión °C</i>
Platino	9,83	0,00385	— 200 a 950	0,05	Alto	25, 100, 130	0,01
Níquel	6,38	0,0063 a 0,0066	— 150 a 300	»	Medio	100	0,50
Cobre	1,56	0,00425	— 200 a 120	»	Bajo	10	0,10

Tabla 1 Propiedades térmicas de elementos

La variación de resistencia de las sondas RTD es medida con un puente de Wheatstone dispuesto en montajes denominados de dos hilos, de tres hilos o de

cuatro hilos, según sean los hilos de conexión de la sonda de resistencia al puente. En las figuras siguientes podemos ver estos distintos tipos de montaje.

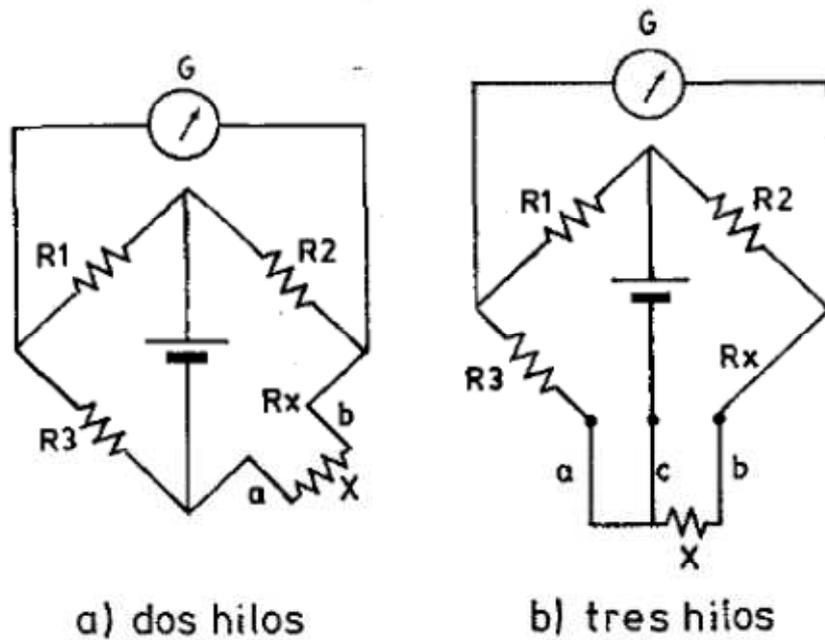
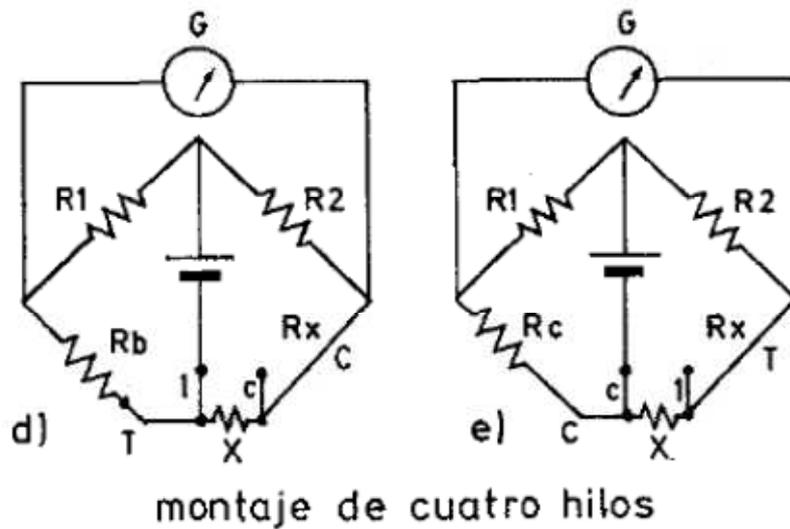


Figura 3.5 Montajes de RTD de dos y tres hilos



montaje de cuatro hilos

Figura 3.6 Montaje de RTD de cuatro hilos

En la Figura 3.5 se presenta el montaje a dos hilos el cual es el más sencillo, pero presenta el inconveniente de que la resistencia de los hilos a y b de conexión de la sonda al puente varían cuando cambia la temperatura, y esta variación falsea por lo tanto la indicación; aunque estos hilos sean de baja resistencia (gran diámetro) y ésta sea conocida, las longitudes que puede haber en campo entre la sonda y el panel donde esté el instrumento receptor, añaden una cierta resistencia al brazo de la sonda. El montaje de dos hilos se emplea, pues, con resistencias moderadas del hilo de conexión y cuando la lectura no necesita ser demasiado exacta.

El montaje de tres hilos mostrado también en la Figura 3.5 es el más utilizado en la práctica, y será el utilizado en nuestra aplicación. En este circuito la sonda está conectada mediante tres hilos al puente. De este modo, la medida no es afectada por la longitud de los conductores ni por la temperatura, ya que ésta influye a la vez en dos brazos adyacentes del puente, siendo la única condición que la resistencia de los hilos a y b sea exactamente la misma.

En efecto, en la figura puede verse que la ecuación correspondiente es:

$$\frac{R_1}{R_3 + Ka} = \frac{R_2}{x + Kb} \quad (3.3)$$

Y como $Ka = Kb$, haciendo $R_2/R_1 = 1$, R_3 puede ajustarse a un valor igual a x para que el galvanómetro no indique tensión.

El montaje de cuatro hilos mostrado en las Figura 3.6 se utiliza para obtener la mayor precisión posible en la medida, como es el caso de calibración de patrones de resistencia en laboratorio. Se basa en efectuar dos mediciones de

la resistencia de la sonda combinando las conexiones de modo tal que la sonda pase de un brazo del puente al adyacente. De este modo se compensan las resistencias desiguales de los hilos de conexión y el valor de la resistencia equivale al promedio de los valores determinados en las dos mediciones.

El instrumento seleccionado para la presente aplicación es el RTD LOVE Series I-1, específicamente el I-11062 que tiene como principales propiedades tener un comportamiento estandarizado PT 100 que facilita la construcción del circuito de transmisión de señal. El elemento sensor tiene una longitud regulable de 15cm y soporta temperaturas entre -40 y los 121°C, suficientes para nuestra aplicación. Para la instalación del presente RTD tendremos que adquirir un fitting por separado.

El material del elemento sensor es platino y tiene una configuración de 3 hilos que ayuda a evitar pérdidas y corrupción de datos en los hilos, además se debe construir un circuito transmisor de señal de 4 a 20 mA que conserve las características de linealidad necesarias para una confiable medición de temperatura.

3.2.5. VÁLVULA DE CONTROL

La válvula de control construida tiene por objetivo ser un elemento de control final, a diferencia de los anteriores instrumentos que envían señales de 4 a 20 mA al sistema SCADA para interpretación de datos y monitoreo, éste recibe señales de ese mismo rango para su apertura y cerrado, haciendo posible el control de la planta. Para la construcción de este actuador se selecciono la válvula

de bola de la serie Inox-Tek IT200 de ½ pulgada acorde a los requisitos de las líneas del sistema.

Esta válvula tiene como características principales una construcción de acero inoxidable con rango de apertura y cerrado total de 90°, soportando presiones de hasta 1000 PSI y temperaturas de 200 °C. Es utilizable en el resto del proyecto como válvula de seguridad y mantenimiento y su accionamiento es manual.

Este tipo de válvulas tienen una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola. La bola tiene un corte adecuado (usualmente en V) que fija la curva característica de la válvula. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75 % del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

Las válvulas de naturaleza rotativa como la de bola y mariposa tienen curvas características básicas que son relativamente cercanas a la linealidad es por esto que su uso para control de caudal es bastante justificado. En la gráfica a continuación vemos una comparativa de este tipo de válvulas con otras de apertura y cerrado axial como las de globo que son usadas para respuestas o muy rápidas o muy lentas. La gráfica muestra entonces las características inherentes de flujo de las válvulas, teniendo en el eje Y el porcentaje de caudal y en el eje X la carrera de la válvula.

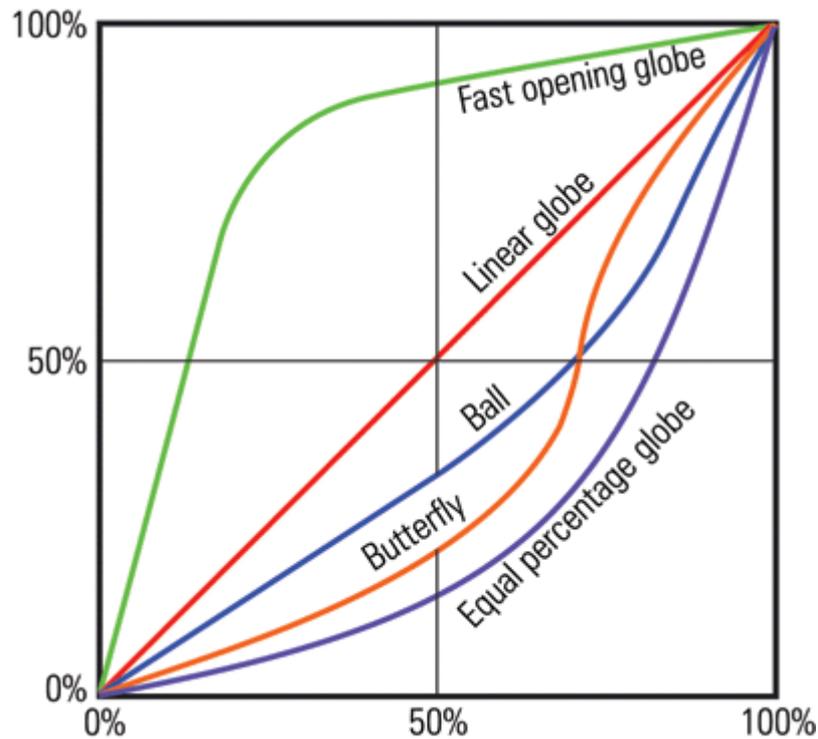


Figura 3.5 Curvas características de válvulas de control en porcentaje de caudal contra apertura de la válvula

La curva de color azul muestra el comportamiento de la válvula de bola que es la más cercana al comportamiento deseado de linealidad en el control. Esta linealidad se la puede conseguir con controladores desde el sistema SCADA si se desea de esa manera.

El actuador que gobernará este sistema será el DDC113 construido por Dwyer Instruments que tiene como características principales entradas de 4 a 20 mA o de 0 a 10 VDC para su control, un torque de 2 Nm o 17 lb/ft que moverá fácilmente a la válvula cuyo torque es menor a 1 Nm. Se alimenta de 24 VAC y se adapta a la válvula seleccionada porque su span también es de 90°. El recorrido completo se realiza en 90 segundos lo cual es bastante aceptable para el control del sistema. Se constituye de un motor AC que por medio de cajas reductoras logra un buen torque para usarlo en la industria, tiene además sistema interno de

seguridad fail open y fail close según sean los requisitos del usuario en caso de pérdida del lazo. [5]

CAPÍTULO 4

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN

4.1. ACONDICIONADORES DE SEÑAL

4.1.1. CIRCUITO 0-10 VDC A 4-20 mA PARA TRANSMISOR DE FLUJO

El circuito acondicionador de señal de transforma la señal de 0 a 10 VDC a 4 a 20 mA estará compuesto en forma principal por un circuito integrado desarrollado por Texas Instruments llamado XTR117 mostrado en la siguiente figura.

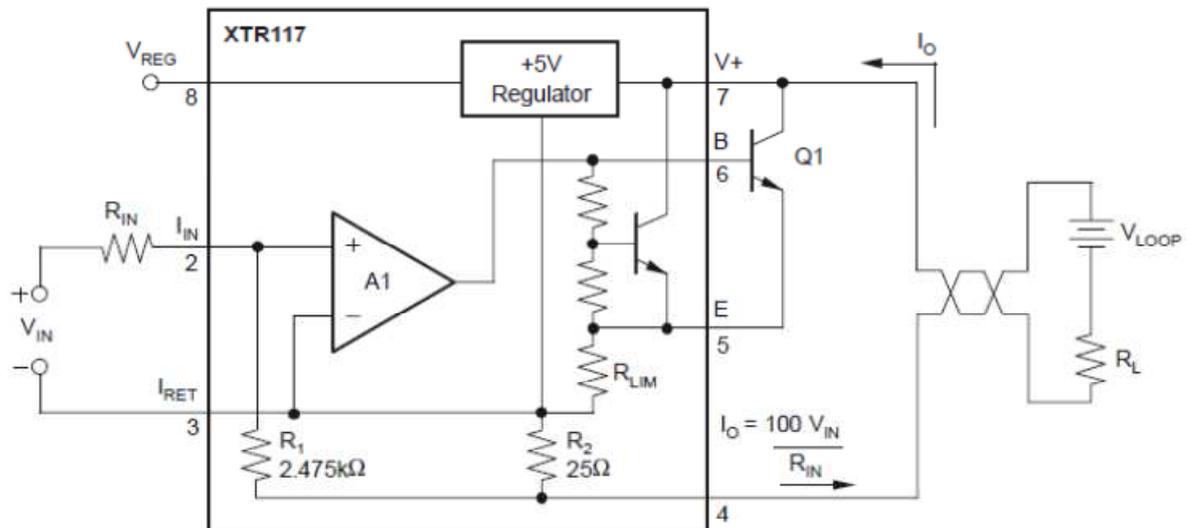


Figura 4.1 Circuito de implementación del circuito integrado XTR117 para transformar un voltaje V_{in} en corriente de 4 a 20 mA

Este integrado se denomina 4-20mA Current-Loop Transmitter y se alimentará del voltaje del lazo SCADA (V_{Loop}) y con un conjunto de circuitería es capaz de realizar una transformación fiable y precisa de la señal.

El XTR117 es capaz de transmitir señales analógicas de 4 a 20 mA sobre un lazo de estándar industrial. Trabaja con dos hilos y tiene en su pin 7 una fuente de 5 V que puede ser utilizada para alimentar circuitería externa al lazo. En resumen lo que hace este integrado es tomar una corriente y le da una ganancia de 100. Entonces una corriente I_{IN} que ingresa por el pin 2 se transforma en I_O con la fórmula

$$I_O = 100 \times I_{IN} \quad (4.1)$$

Siendo I_O la corriente portadora de señal de 4 a 20 mA.

Su aplicación es sencilla pues debemos crear una corriente de 0.04 mA para el voltaje de salida 0 V del sensor de flujo y una corriente de 0.20 mA para el voltaje de salida 10 V. Entonces el diseño se resume a calcular dos resistencias una que creará el offset que permita comenzar la escala desde 4 mA y no 0 mA y la otra que creará una corriente a partir de la salida del sensor de flujo que es de 0 a 10 V.

En el siguiente gráfico vemos como podemos utilizar la salida de 5 V del integrado que en conjunto con una resistencia de 125 K Ω nos dan como resultado los 0.04mA que necesitamos de offset.

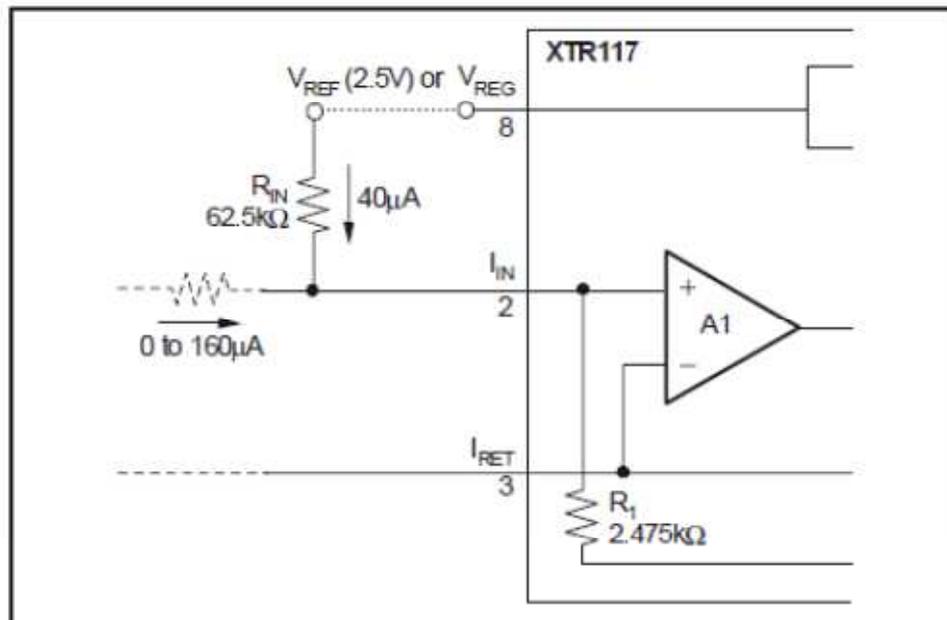


Figura 4.2 Detalle de circuito generador de corriente de offset de 4 mA

$$V_{off} = R_{off} * I_{off} \quad (4.2)$$

$$R_{off} = \frac{V_{off}}{I_{off}} \quad (4.3)$$

$$R_{off} = \frac{5 * 10^3 \text{ mV}}{0.04 \text{ mA}} \quad (4.4)$$

$$R_{off} = 125 \text{ K}\Omega \quad (4.5)$$

Ahora procederemos a calcular la R_{INST} trabajará con I_{INST} que sumada con I_{OFF} dará como resultado los rangos buscados. Entonces tomamos la mayor escala que es 10 V y aplicamos la misma ecuación. Sabemos que faltan 0.16 mA para completar los 0.2 mA de I_{IN} deseados.

$$V_{inst} = R_{inst} * I_{inst} \quad (4.6)$$

$$R_{inst} = \frac{V_{inst}}{I_{inst}} \quad (4.7)$$

$$R_{inst} = \frac{10 \cdot 10^3 \text{ mV}}{0.16 \text{ mA}} \quad (4.8)$$

$$R_{inst} = 62.5 \text{ K}\Omega \quad (4.9)$$

El rango de temperatura de trabajo del presente integrado es de de -40°C a $+125^\circ\text{C}$. Toda la información adicional estará en el datasheet del integrado ubicado en la sección de anexos.

4.1.2. CIRCUITO 0-2 VDC A 4-20 mA PARA TRANSMISOR DE NIVEL

En este caso se implementará el mismo circuito descrito en la sección anterior con la única diferencia de que debemos recalculamos R_{inst} que en este caso debe limitar una corriente que funcione entre los rangos de 0 a 2 VDC, los cálculos se muestran a continuación.

$$V_{inst} = R_{inst} * I_{inst} \quad (4.10)$$

$$R_{inst} = \frac{V_{inst}}{I_{inst}} \quad (4.11)$$

$$R_{inst} = \frac{2 \cdot 10^3 \text{ mV}}{0.16 \text{ mA}} \quad (4.12)$$

$$R_{inst} = 12.5 \text{ K}\Omega \quad (4.13)$$

4.1.3. CIRCUITO RTD PT-100 A 4-20 mA PARA TRANSMISOR DE TEMPERATURA

El circuito acondicionador de señal que se utilizará para la representación de 4 a 20 mA del RTD utilizado estará gobernado por el circuito integrado XTR112 construido por Texas Instruments.

De manera similar que el XTR117 se alimenta del voltaje del lazo y provee de una transmisión de 4 a 20 mA precisa pero en este caso para dispositivos resistivos como los RTD. En otras palabras provee de la corriente necesaria para excitar un RTD por medio de dos fuentes internas de corriente en este caso de 250 μ A. A continuación veremos un diseño básico interno de este integrado conectado a un RTD de 3 hilos como el de nuestro proyecto y procederemos a realizar los cálculos necesarios para su funcionamiento en la escala que hemos seleccionado de 0 C a 110 C.

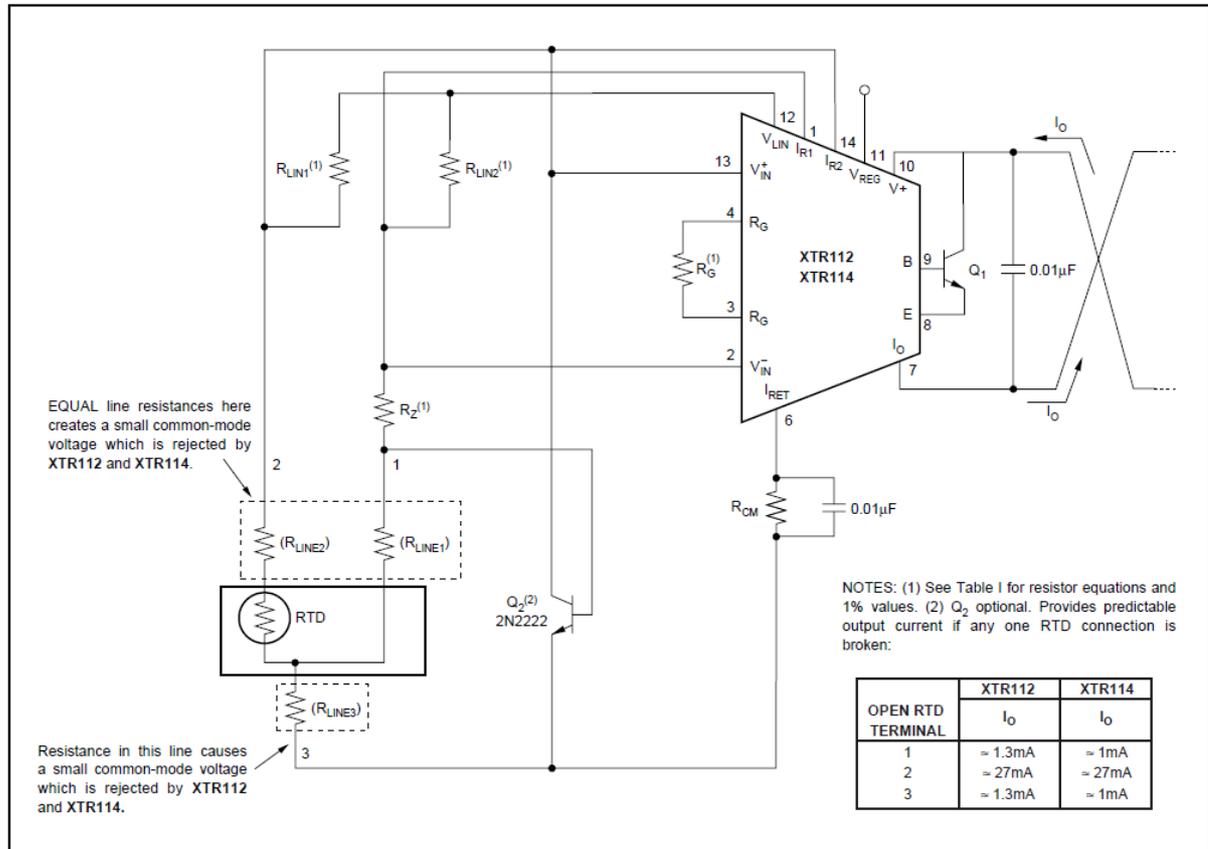


Figura 4.3 Circuito de implementación del circuito integrado XTR112 para transformar la señal de un RTD en corriente de 4 a 20 mA

Según el manual del usuario debemos tomar las siguientes consideraciones:

- ✓ R_z debe ser igual a la resistencia en la mínima escala del RTD, en este caso 0 C y según su relación por la tabla de resistencia por temperatura para un RTD PT 100 será 100 Ω .
- ✓ R_2 es la resistencia a la temperatura máxima del RTD en este caso 110 C y por consiguiente 142.28 Ω
- ✓ R_1 es el equivalente en resistencia de la media de temperatura entre R_z y R_2 , en este caso es 55 C y por consiguiente 121.318 Ω .
- ✓ R_{LIN} tiene un valor constante de 1K Ω .

- ✓ I_{REF} para este integrado es de 250 μ A.
- ✓ Para trabajar sin el capacitor Q1 debemos conectar una resistencia de 3.3 K Ω entre los pines 6 y 8 del integrado.

Con estos valores podemos calcular R_G , R_{LIN1} y R_{LIN2} necesarios para completar nuestro circuito.

$$R_G = \frac{2.5 * I_{REF} (R_2 - R_Z) (R_1 - R_Z)}{R_2 - R_1} \quad (4.14)$$

$$R_G = 26.87 \Omega \quad (4.15)$$

$$R_{LIN1} = \frac{0.4 (R_{LIN}) (R_2 - R_1)}{I_{REF} (2R_1 - R_2 - R_Z)} \quad (4.16)$$

$$R_{LIN1} = 95.8 K\Omega \quad (4.17)$$

$$R_{LIN2} = \frac{0.4 (R_{LIN} + R_G) (R_2 - R_1)}{I_{REF} (2R_1 - R_2 - R_Z)} \quad (4.18)$$

$$R_{LIN2} = 121.6 K\Omega \quad (4.19)$$

Con estos valores procedemos a la construcción del circuito transmisor del RTD.

4.1.4. CIRCUITO 110 VAC A 0-24 VAC PARA ALIMENTACIÓN DE ACTUADOR

Este circuito se resume a la utilización de un transformador de 110 VAC a 24 VAC. En la práctica este circuito entrega 27.5 VAC pero la cantidad se encuentra entre los rangos aceptados por el actuador DDC113 que van desde 20 hasta 36 VAC.

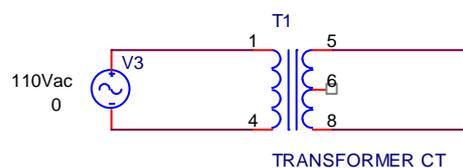


Figura 4.4 Circuito encargado de transformar 110 VAC a 24 VAC

4.2. VÁLVULA DE CONTROL

La válvula de control necesitó de un acople mecánico para poder unir el actuador DDC113 con la válvula INOX TEK T200. Este acople consiste de una placa en forma de u de hierro que servirá de soporte al actuador unidos por tornillos.

Además una varilla de sección cuadrada de 1 cm^2 y 10 cm de longitud será la utilizada para unir los ejes de ambas partes y transferir el torque que accionará la válvula. Se utilizaron además tornillos de hierro y soldadura de otras partes para dar firmeza a la válvula y evitar pérdidas en torque. El acople mecánico fue construido en su totalidad en los laboratorios de ingeniería mecánica de la universidad San francisco de Quito. La gráfica a continuación muestra un desglose de lo construido e implementado.



Figura 4.5 Detalle de la estructura desglosada de la válvula de control construida

En las siguientes gráficas se muestra el sistema en conjunto como producto final renderizado en adobe fireworks.

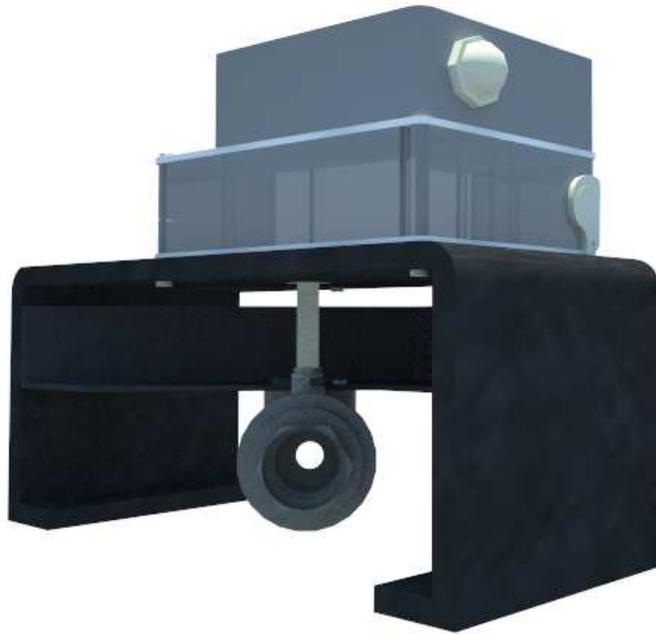


Figura 4.6 Válvula de control

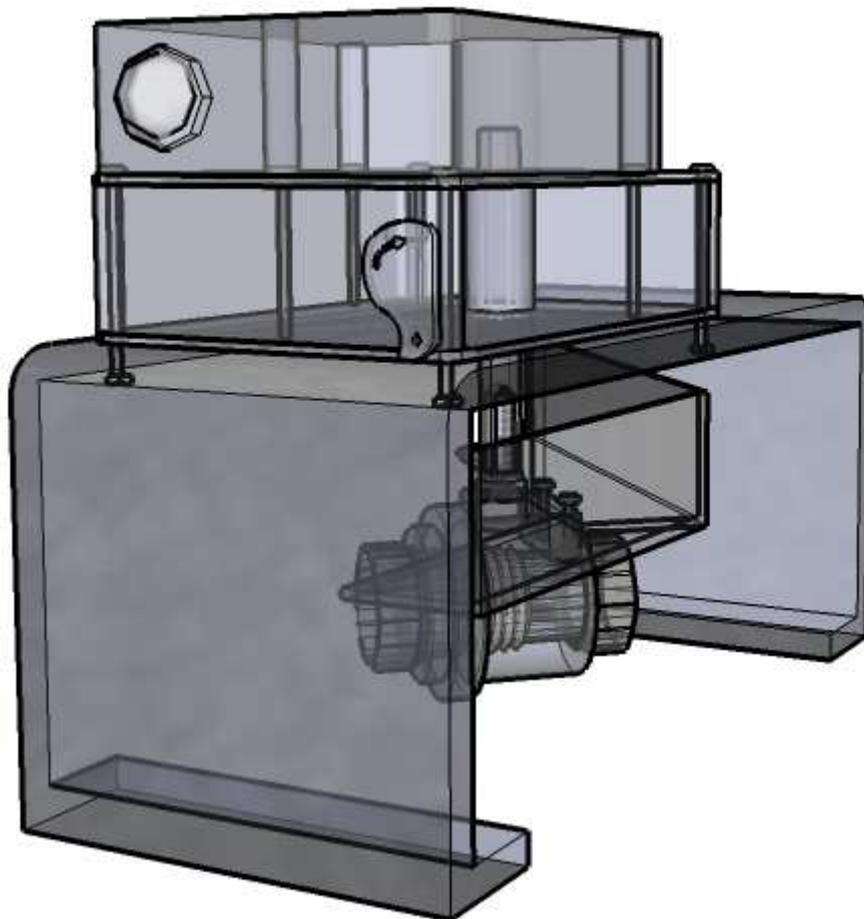


Figura 4.7 Detalle estructural de la válvula de control

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y PRE COMISIONADO

5.1. FORMATO DE DOCUMENTO

El pre comisionado de la instrumentación es un documento que deja constancia de que pruebas funcionales previas a la instalación en sitio de los instrumentos se han realizado. Para poder realizarlo es necesario un documento que tenga todo lo necesario para un ágil y fidedigno asentamiento de datos de pruebas de lo construido en el presente proyecto.

El documento que se utilizará para la realización del pre comisionado es una adaptación del documento original del ABU DHABI POLYMERS COMPANY LIMITED. Tanto el documento como el P&ID desarrollado cumplen con todas las normas ISA de instrumentación tanto en simbología, nomenclatura y formato. [6]

El documento que se denominará desde ahora como IFT-001 o Instrumentation Functional Test 001 se encuentra al final en la sección de anexos junto con el P&ID completo de la planta en formato original. Consta de tres secciones bien diferenciadas.

La primera es una sección de encabezado donde se puede identificar fácilmente los logotipos de las compañías que persiguen el comisionado además información adicional como nombre del documento e información del sistema a evaluarse. Además se especifica en esta parte el número de P&ID donde se encuentra la instrumentación.

En el cuerpo del documento podemos identificar una sección de ubicación específica del instrumento a evaluar, sus unidades de funcionamiento y tipo de lazo de control que utiliza. Luego distinguimos una sección de identificación del instrumento en el P&ID y resultados de la prueba. Por lo general se realiza el test para porcentajes de 0, 25, 50, 75 y 100 por ciento de trabajo tanto para transmisores como para válvulas de control. Se da una sección adicional para observaciones.

La parte final del documento es una sección de asentamiento de fechas y firmas de las personas que estuvieron envueltas en la ejecución del pre comisionado. De esta manera ambas partes, constructor y comprador o en este caso estudiante y laboratorio de ingeniería de control muestran su acuerdo en la entrega de los instrumentos para su utilización en futuras aplicaciones.

5.2. CONSIDERACIONES TÉCNICAS

Dentro del pre comisionado de los instrumentos debemos tomar en cuenta que debido a la naturaleza de las pruebas y las limitaciones del laboratorio no todos los instrumentos pueden realizar un test real a escala completa, sino que necesitaran de extrapolación de resultados. Por ejemplo, en el caso del transmisor de presión no es posible llegar a un 75% o 100% de la escala porque el compresor de la universidad tiene un límite de 140 PSI de presión máxima y dado que la escala completa de nuestro transmisor es de 250 PSI tendremos que extrapolar resultados a partir del 50% de la escala.

Caso similar se presenta en el test del transmisor de temperatura, debido a que trabajamos con un RTD PT-100 podemos utilizar sus equivalencias en

valores de resistencia en lugar de temperaturas reales de muy difícil manipulación. Con un potenciómetro entonces simularemos toda la escala de temperatura a la que la sonda PT-100 podría ser sometida.

Estas consideraciones irán asentadas en la sección de observaciones en el documento IFT – 001.

CAPÍTULO 6

MANUALES DE USO Y CALIBRACIÓN

6.1. TRANSMISOR DE FLUJO

El sensor de flujo presenta cuatro cables, dos de alimentación y dos de salida. Los cables de alimentación irán conectados a una fuente de 24 VDC proporcionada por la universidad de la siguiente manera, cable rojo a salida positiva y cable negro a salida positiva o tierra. La salida del sensor de flujo se dará por los cables verde y blanco, verde para positivo y blanco para negativo. Esta salida varía entre 0 y 10 VDC Se muestra una foto del elemento sensor a continuación.



Figura 6.1 Sensor de flujo W.E Andersson A-712 y cables de conexión

El transmisor de flujo desempeñará la función de transformar la salida de 0 a 10 VDC del sensor de flujo en una señal de 4 a 20 mA, para lo cual se construyó un circuito acondicionador de señal que cumpliera dicho objetivo. Este circuito ya construido en la placa tiene la siguiente configuración.

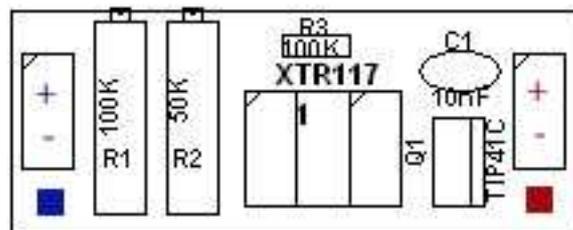


Figura 6.2 Estructura del acondicionador de señal para transmisor de flujo

Aquí se puede diferenciar dos juegos de borneras, las que están designadas con el cuadro azul se conectarán al sensor de flujo en sus terminales de transmisión de voltaje y las que están designadas por el cuadro rojo se conectarán al lazo de control que provee el sistema SCADA, esta conexión a su vez brinda el voltaje suficiente para alimentar la circuitería.

Para poder encerrar el transmisor tan solo conectamos los cables de la bornera roja al lazo de control y debemos tener una lectura de 4 mA o 0 % de la escala, en caso de no ser así ajustamos con el potenciómetro R2.

Para poder cambiar o ajustar el alcance del transmisor, conectamos la bornera roja al SCADA y la bornera azul a una fuente de voltaje que nos genere el rango deseado. En este caso deseamos que el rango superior sea de 10 VDC

entonces ajustamos nuestra fuente a esa corriente y si encontramos que la salida en SCADA es mayor o menor a 20 mA como es deseado, ajustamos con el potenciómetro R1.

Vale la pena recordar que el rango de funcionamiento de este transmisor es de 2 a 20 GPM por lo que no se deberían aplicar flujos superiores.

6.2. TRANSMISOR DE NIVEL

El elemento transductor de este transmisor es un potenciómetro por lo cual sus conexiones serán sencillas, en la siguiente gráfica se muestra un esquema del mismo En donde podemos diferenciar claramente las terminales A, B y W.

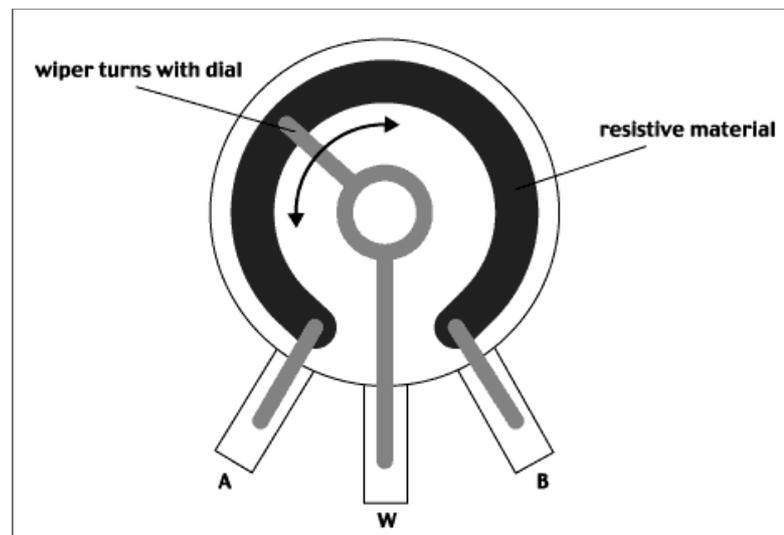


Figura 6.3 Estructura básica de un potenciómetro

La alimentación de 24 VDC se conectará a las terminales A y W, mientras que la conexión al acondicionador de señal vendrá de las terminales B y W. El

acondicionador de señal que se utilizará para este transmisor es el mismo utilizado en el transmisor de flujo, pero ahora transformará una señal de 0 a 2 VDC en 4 a 20 mA. Se lo presenta en la siguiente imagen.

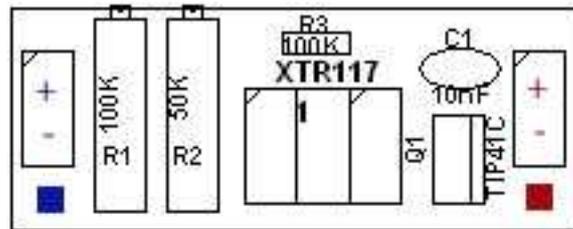


Figura 6.4 Estructura del acondicionador de señal para transmisor de nivel

Podemos diferenciar también dos juegos de borneras, las que están designadas con el cuadro azul se conectarán al sensor de nivel en sus terminales de transmisión de voltaje, o sea B y W. Las que están designadas por el cuadro rojo se conectarán al lazo de control que provee el sistema SCADA, esta conexión a su vez brinda el voltaje suficiente para alimentar la circuitería.

Para poder encerrar el transmisor tan solo conectamos los cables de la bornera roja al SCADA y debemos tener una lectura de 4 mA o 0 % de la escala, en caso de no ser así ajustamos con el potenciómetro R2.

Para poder cambiar o ajustar el alcance del transmisor, conectamos la bornera roja al SCADA y la bornera azul a una fuente de voltaje que nos genere el rango deseado. En este caso deseamos que el rango superior sea de 2 VDC entonces ajustamos nuestra fuente a esa corriente y si encontramos que la salida

en SCADA es mayor o menor a 20 mA como es deseado, ajustamos con el potenciómetro R1.

6.3. TRANSMISOR DE PRESIÓN

El transmisor de presión 841GM-D presenta dos tapas que contienen interfaces para su calibración y para su conexión. La tapa posterior presenta dos bornes en donde se conectará al lazo de control que viene del sistema SCADA, se encuentran claramente identificados con símbolos + y – como se muestra en la siguiente imagen.

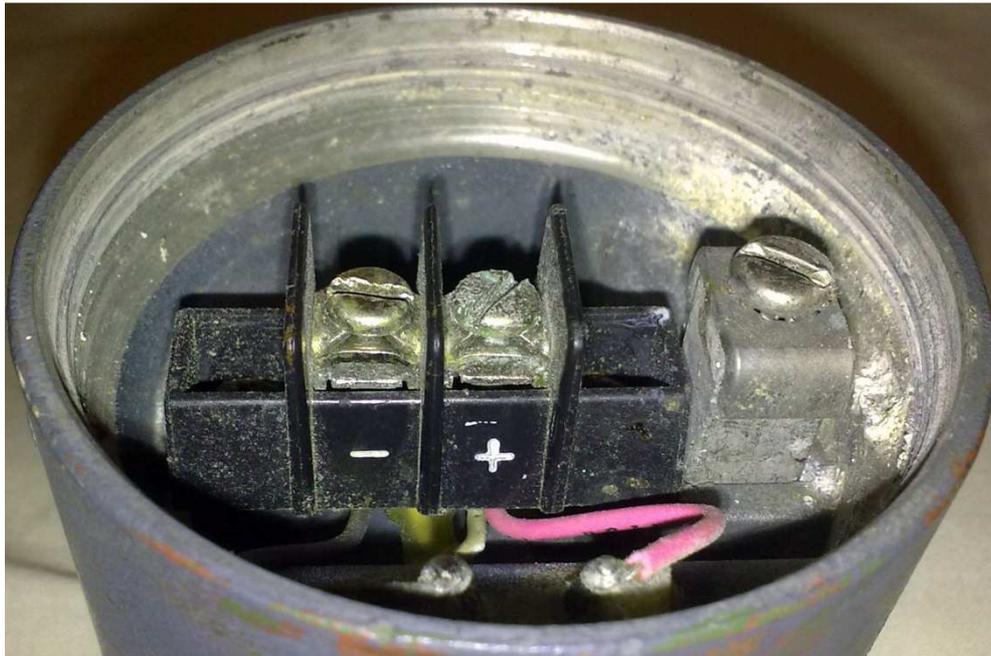


Figura 6.5 Conectores para alimentación y transmisión del FOXBORO 841 GM-D

Debido a su gran rango de uso, el transmisor de presión FOXBORO 841GM-D se calibró para un rango de uso entre 0 y 250 PSI, pero si se desea ampliar dicho rango la tapa frontal nos da una interfaz para lograrlo.

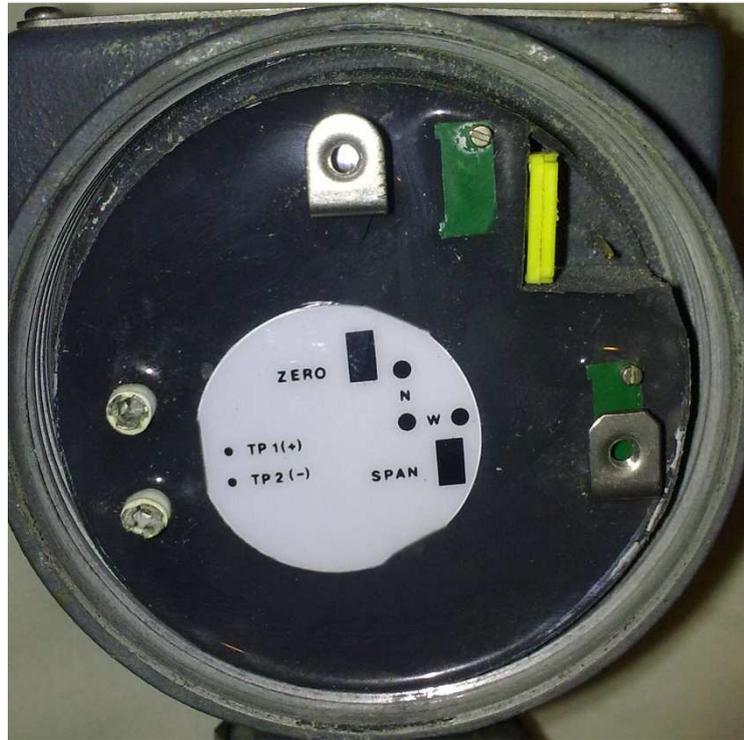


Figura 6.6 Estructura frontal del FOXBORO 841 GM-D con jumper en posición de cero

Se puede distinguir un jumper de color amarillo en la parte superior derecha con el cual seleccionaremos si queremos ajustar el cero o el rango de uso. Para ajustar el cero no hace falta aplicar una presión externa tan solo colocamos el jumper en la posición cero como se muestra en la imagen anterior y ajustamos con el tornillo correspondiente. Para ajustar el alcance o span, colocamos el jumper en dicha posición como se muestra en la imagen siguiente y ajustamos con el tornillo respectivo. Se necesita entonces que haya una fuente de presión externa como un compresor que genere el rango deseado.

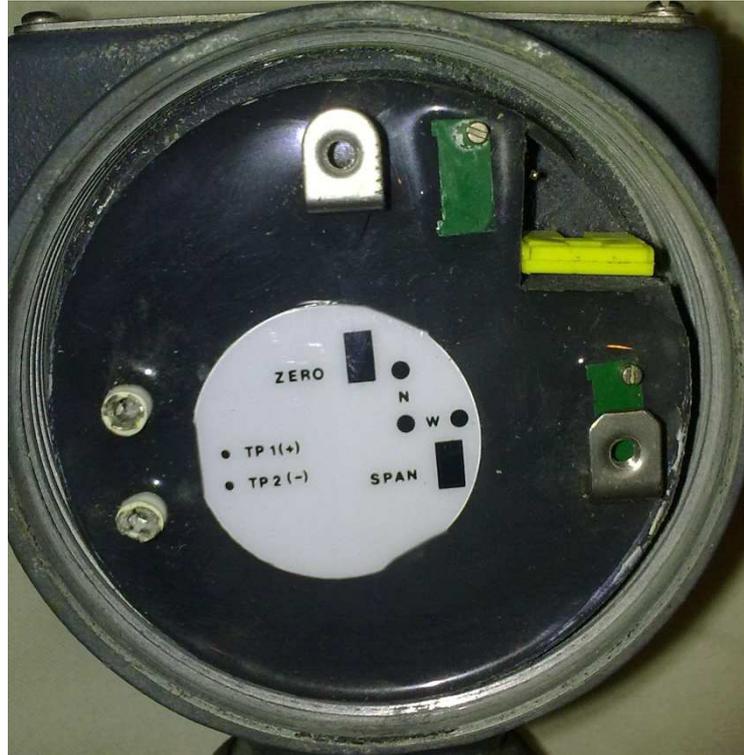


Figura 6.7 Estructura frontal del FOXBORO 841 GM-D con jumper en posición de span

6.4. TRANSMISOR DE TEMPERATURA

El elemento sensor que se utilizó fue un RTD de tres hilos que debe ir conectado a un acondicionador de señal que transforme su salida que es en ohmios a una señal de 4 a 20 mA. En la siguiente imagen podemos identificar los tres cables o hilos que lo conforman y notamos uno de color blanco y dos rojos que deben ir conectados de forma correcta al acondicionador.

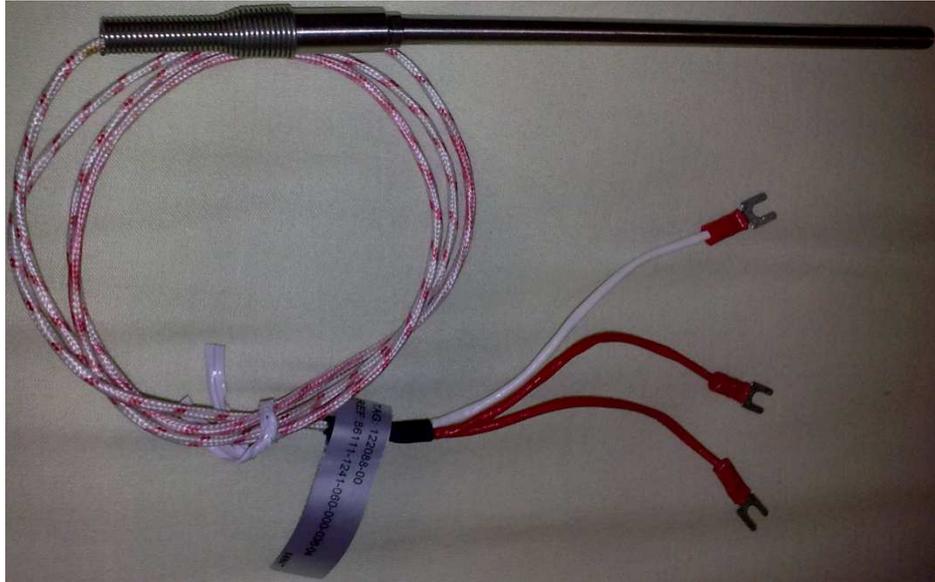


Figura 6.8 RTD LOVE I-11062 de tres hilos

En el capítulo 4 se dio a conocer el funcionamiento de la circuitería y los cálculos de los dispositivos electrónicos para la construcción del transmisor de temperatura. Sin embargo para una futura aplicación con distintos rangos deseados, se procedió a desarrollar una tabla de Excel que calcule automáticamente todas las variables necesarias en la construcción del acondicionador de señal con el chip XTR112. El ejemplo de la presente aplicación se muestra a continuación y el programa completo se entregará en un CD como anexo.

XTR112			
RTD Characteristics		Resistencia del rtd a 0°C	
A =	3,91E-03	R0 =	100 ohm
B =	-5,78E-07	Rango de medida de temperatura	
C =	-4,18E-12	T1	0 C
Ecuaciones descriptivas del RTD		T2	110 C
Para T > 0 C $R = R0 * (1 + A*T + B*T^2)$			Min Temp
$R = R0 * (1 + A*T + B*T^2 +$			Max Temp
Para T < 0 C $C*T^3*(T-100))$		Valores calculados para el RTD	
Parámetros del transmisor		0	100,00 ohm
Rlin	1000 ohms	55	121,32 ohm
Iref	0,25 mA	110	142,29 ohm
Valores Ideales de las resistencias (Configuración de 3 hilos)			Rtd @T(min)
RZ	100,00 ohm		Rtd@T(mid)
RG	26,87 ohm		Rtd@T(min)
RLIN1	96.031 ohm		
RLIN2	98.611 ohm		
Min Rcm	2.475 ohm		
Max Rcm	6.802 ohm		

Tabla 2 Características de circuito de implementación de XTR112

El circuito acondicionador de señal tendrá entonces la siguiente configuración:

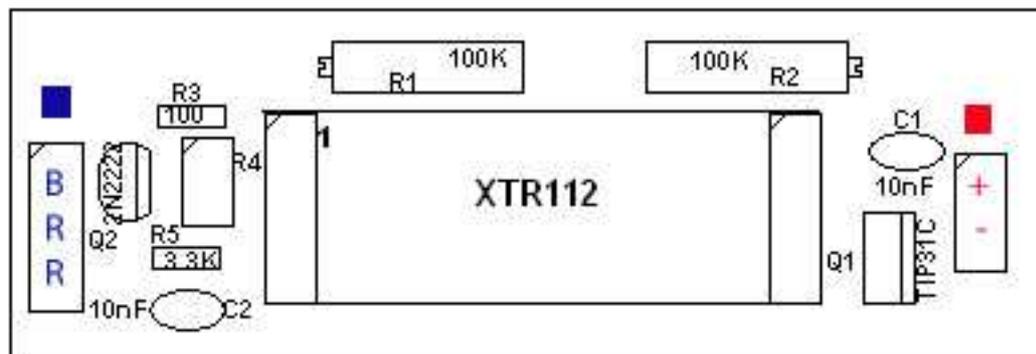


Figura 6.9 Estructura del acondicionador de señal para transmisor de temperatura

El RTD se conectará en las borneras con leyenda Azul y en el orden que se indica para los hilos Blanco – Rojo – Rojo. En el lado de las borneras con leyenda rojas se conectará el lazo de control que viene del sistema SCADA.

Con esta configuración podemos también encerrar el transmisor, dejando sin conectar las borneras del RTD y conectando las borneras rojas al lazo de control del sistema SCADA para ajustar el potenciómetro R4 hasta que la señal sea de 4 mA.

Para incrementar o reducir el alcance es necesario utilizar la hoja de cálculo de Excel presentada anteriormente y tomar en cuenta los valores obtenidos de R_{lin1} y R_{lin2} que son respectivamente los valores de R1 y R2 del esquema, una vez ajustados correctamente, el alcance del RTD cambiará al alcance deseado.

6.5. VÁLVULA DE CONTROL

La válvula de control presenta una placa de circuitos electrónicos en la que podemos identificar dos zonas, una de conexiones y otra de configuración. En la siguiente imagen podemos identificarlas en la parte superior derecha, la rodeada por el rectángulo rojo es la de configuración y la azul es la de conexión.

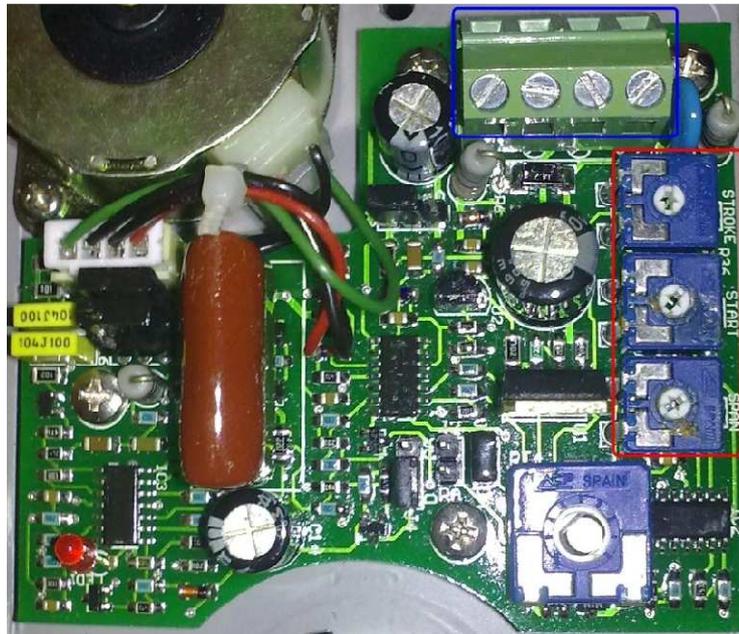


Figura 6.10 Detalle de placa de circuitos del actuador DC DCC-113

En el área de conexión identificamos 4 borneras numeradas como se presenta en la siguiente imagen, las número 1 y 2 irán conectada a las terminales de la alimentación de 24 VAC indistintamente. La terminal 2 sirve de un punto común y se conectará también al terminal negativo del lazo de control, mientras que la terminal 3 se conecta al terminal positivo del lazo de control. A la bornera

número 4 la dejamos sin conexión dado que su salida es en voltaje y no corriente como deseamos.



Figura 6.11 Borneras de conexiones de actuador DC DDC-113

En la zona de configuración que identificamos en la siguiente imagen tenemos 3 potenciómetros fácilmente identificables por sus etiquetas STROKE, START y SPAN.

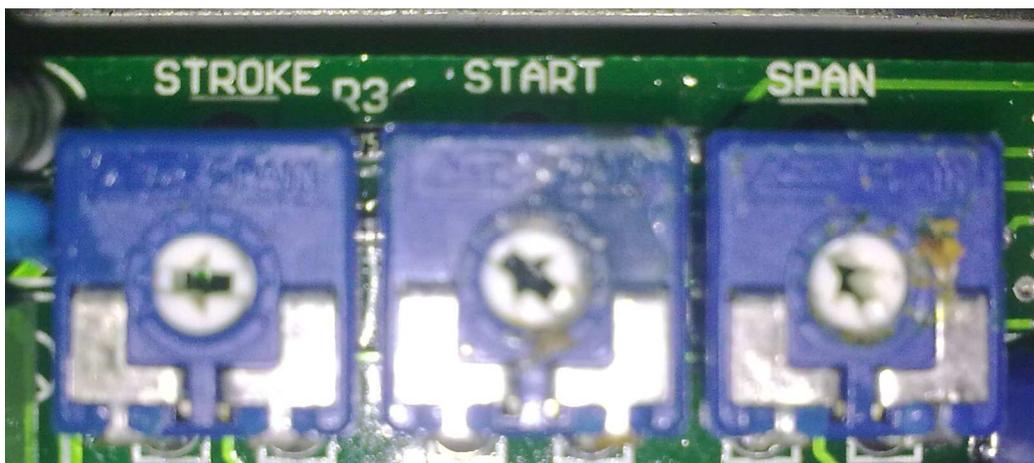


Figura 6.12 Potenciómetros de calibración de actuador DC DDC-113

El potenciómetro START nos ayudará a encerrar la válvula de control para lo cual deberemos ordenar al sistema SCADA que de un cerrado completo y con la ayuda visual de la graduación externa mostrada a continuación hacemos coincidir a la medida deseada.

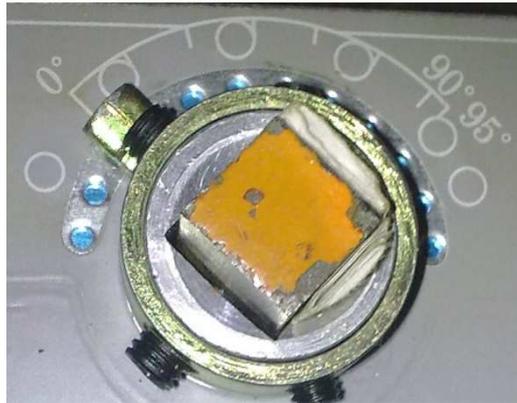


Figura 6.13 Detalle de graduación externa en eje del actuador DC DDC-113

El potenciómetro SPAN es el que nos ayuda a incrementar o reducir el alcance de apertura de la válvula, en la actualidad está seteado a 90 grados debido a que nuestra válvula de bola tiene una apertura total a esa medida. El potenciómetro STROKE desplaza el rango en su totalidad y es recomendable no moverlo.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Al finalizar el presente proyecto, se concluye de manera satisfactoria el objetivo general del mismo, que consistía en diseñar y construir la instrumentación de un tanque continuamente agitado (CSTR) presurizado con intercambio de calor.
- Al realizar un estudio profundo de los métodos de medición y acción de la instrumentación se pudo seleccionar lo más óptimo para la aplicación actual tomando en cuenta las necesidades de la planta y los limitantes económicos.
- El uso de un RTD de tres hilos brinda mas confiabilidad en el transporte de las señales de control debido a que su configuración presenta menos pérdidas desarrolladas por la longitud de los cables.
- Por motivos de limitantes económicos se construyeron tres circuitos acondicionadores de señal que hacen las veces de transmisores de señales para los elementos sensores seleccionados y construidos. Todos estos circuitos pueden ser calibrados en caso de necesitarse en otras

aplicaciones y sus rangos de medida justifican su utilización en la presente aplicación.

- Se pudo construir una válvula de control a partir de un actuador DC que tiene la función de posicionador y una válvula de ½ pulgada de acero inoxidable. Además posee características de alta robustez para la aplicación en la que se utilizará. Se puede calibrar con mucha facilidad si se desea adaptar a otros usos.
- El proceso de pre comisionado es resumido en un documento que sirve de testigo del correcto funcionamiento de todos los elementos que forman parte de la instrumentación desarrollada. En él se encontrarán las evaluaciones de trabajo de los instrumentos y observaciones realizadas en el momento de prueba.
- Se han redactado manuales detallados de uso y calibración de toda la instrumentación entregada a los cuales se debe acudir antes de realizar cualquier conexión. En ellos se explica los pasos necesarios para poder calibrar los instrumentos en caso de querer ocuparlos en aplicaciones distintas para la que fueron concebidos.
- Se concluye que el proyecto es altamente rentable si se toma en cuenta los altos precios del mercado. Se lo pudo ejecutar con el presupuesto acordado sin complicaciones. Además los circuitos transformadores de

voltaje a corriente de lazo y de RTD a corriente de lazo desarrollados a lo largo del proyecto pueden ser altamente comerciables.

7.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir la guía descrita en el capítulo 6 del presente documento al conectar y calibrar la instrumentación entregada. Si se es negligente en este aspecto los sensores o circuitos acondicionadores de señal pueden sufrir daños irreparables. Es necesario tener muy en cuenta los rangos de medida y funcionamiento de la instrumentación entregada.
- Se recomienda colocar el circuito acondicionador de señal del RTD lejos del tanque debido a que éste puede presentar altas temperaturas que pueden afectar a elementos como el circuito integrado XTR112.
- Se recomienda seguir el conjunto de normas ISA de instrumentación para la instalación del equipo, su uso y mantenimiento.
- Cualquier modificación que se realice en el P&ID original necesitará obligatoriamente revisiones que contengan los cambios en la instrumentación y distintas partes del sistema.
- Para su implementación en el tanque CSTR a construirse en el laboratorio de control se recomienda la adquisición del transmisor de nivel Flowline

Echopod descrito en el capítulo 3 del presente documento pues presenta características ideales para la planta por su naturaleza de ser presurizada. El transmisor construido funciona bien en aplicaciones de presión atmosférica solamente.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Mavainsa. Control de Procesos. Obtenido en línea el 14 de Agosto del 2009. Disponible en:
http://www.mavainsa.com/documentos/9_control_procesos.pdf

- [2] William G, Andrew. *Applied instrumentation in the process industries Volume 1*. Houston: Gulf,1988.

- [3] Creus, Antonio. *Instrumentación Industrial*. Barcelona: Marcombo, 1997.

- [4] INELE. *Capítulo 5. Elementos finales de control*. Obtenido en línea el 3 de Agosto del 2009. Disponible en:
http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%205.%20Elementos%20finales%20de%20Control.pdf

- [5] Blasco, Javier. *Válvulas (teoría)*. Obtenido en línea el 24 de Septiembre del 2009. Disponible en: http://piping.unizar.es/ejemplo_valvulas.pdf

- [6] Instruments Society of America, *Standard ISA-5-5-1985: Graphic Symbols for process Displays*. North Carolina: ISA,1985.

- [7] American National Standard, *ANSI/ISA-5.1-1984 (R1992): Instrumentation Symbols and Identification*. North Carolina: ISA,1985.

- [8] Jiménez Macías, Emilio. *Técnicas de automatización avanzadas en procesos industriales*. Obtenido en línea el 5 de marzo del 2009. Disponible en: <http://www.google.com.ec/search?q=emilio+jimenez+macias>

ANEXOS

- [1] DOCUMENTO ORIGINAL IFT-001
- [2] RESULTADOS DE COMISIONADO
- [3] P&ID DE LA PLANTA
- [4] ESCALA PRÁCTICA DE TEMPERATURAS INTERNACIONAL (IPITS-68)
PARA RTD PT-100
- [5] DATASHEET XTR112
- [6] DATASHEET XTR117
- [7] MANUAL DE USUARIO SFI-800 TRANSMISOR DE FLUJO
- [8] MANUAL DE USUARIO FOXBORO 841 GM-D TRANSMISOR DE
PRESIÓN
- [9] MANUAL DE USUARIO DWYER DDC-113 ACTUADOR DC
- [10] CARACTERÍSTICAS DE VÁLVULA INOX-TEK T200
- [11] CARACTERÍSTICAS DE RTD LOVE I-11062
- [12] PROGRAMA EN CD DE CÁLCULO DE VARIABLES PARA CIRCUITO
XTR112