

**IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE INSTRUMENTACIÓN EN
EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO**

ORLANDO IVÁN ARRIETA LÓPEZ

**FACULTAD DE INGIENERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLÍVAR
CARTAGENA DE INDIAS D, T, C e H, COLOMBIA
OCTUBRE DE 2010**

**IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE INSTRUMENTACIÓN EN
EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO**

ORLANDO IVÁN ARRIETA LÓPEZ

Trabajo de monografía presentado como requisito para optar

al título de:

Ingeniero Electrónico

DIRECTOR

ENRIQUE VANEGAS CASADIEGO

Especialista en automatización

FACULTAD DE INGIENERIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLÍVAR

CARTAGENA DE INDIAS D, T, C e H, COLOMBIA

OCTUBRE DE 2010

Cartagena de Indias Octubre de 2010

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Comité de evaluación de proyectos

La ciudad

Estimados señores:

Cordialmente me permito presentar a ustedes la monografía titulada: **“IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE INSTRUMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO”**, desarrollada por el estudiante de Ingeniería Electrónica, **ORLANDO IVÁN ARRIETA LÓPEZ**.

En vista de que esta monografía muestra un contenido de alta importancia para que ingenieros, docentes, técnico y personas ligadas a esta área o que quieran conocer más de la misma, adquieran competencias en el área de la instrumentación industrial considero conveniente su aceptación.

Sinceramente,

Enrique Vanegas Casadiego

Especialista en automatización

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias D.T.C. e H, Octubre de 2010

Yo, ORLANDO IVÁN ARRIETA LÓPEZ, identificado con la cedula de ciudadanía número 1.047.394.069 de Cartagena, autorizo a la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR para hacer usode mi trabajo de grado y publicarlo en el catalogo Online de la Biblioteca.

Orlando Iván Arrieta López

C.C. 1.047.394.069 de Cartagena

Cartagena, Octubre de 2010

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Comité de evaluación de proyectos.

La ciudad

Estimados señores:

Cordialmente me permito presentar a ustedes la monografía titulada: **“IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE INSTRUMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO”**, desarrollada por el estudiante de Ingeniería Electrónica, **ORLANDO IVÁN ARRIETA LÓPEZ**.

Esperando con este trabajo dejar mi huella, no solo en la universidad sino también en las futuras generaciones presento esta monografía que espero cumpla con las normativas pertinentes establecidas por la institución.

Sinceramente,

Orlando Iván Arrieta López

T00015286

Agradecimientos

Agradezco a mi persona por todo el esfuerzo y empeño que puse en la elaboración de este documento, que aunque se presentaron obstáculos siempre pude resolverlos de la mejor manera.

Agradezco a mi Padre y a mi Madre, por la vida, por las enseñanzas que me han dado y me siguen dando, y espero algún día ser tan buen padre como los son ellos.

Agradezco a mi Padre y a mi Madre, porque cada día hacen de mí una mejor persona y un mejor ser humano, rodeándome de todo el cariño y la disciplina que hace hombres de bien.

Agradezco a mi Hermana, cuya fe en mí y su apoyo constante me permitieron seguir hacia adelante en cada momento de la vida.

Agradezco a todos mis familiares que con su granito de arena, me permitieron desarrollar este documento.

Agradezco aquellas personas que siempre estuvieron pendientes de mí y de este documento.

Agradezco a DIOS por que sin el nada de esto hubiese sido posible.

Gracias

ORLANDO IVÁN ARRIETA LÓPEZ

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena, Octubre 2010.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. Fundamento de la instrumentación industrial	2
2.1. Termocuplas	3
2.1.1. Descripción general	3
2.1.2. Leyes de las termocuplas	4
2.1.3. Características	5
2.2. Dispositivos térmicos resistivos	7
2.2.1. Descripción general	7
2.2.2. Tipo de conexiones de las RTD	8
2.2.3. Corriente de excitación	9
2.2.4. Calculo de la temperatura con la resistencia	10
2.2.5. Características	11
2.3. Trasmisor de caudal 8035	12
2.3.1. Identificación del equipo	12
2.3.2. Principio de medición	13
2.3.3. Funcionamiento	14
2.3.4. Niveles de funcionamiento	15
2.4. Trasmisor de nivel por presión diferencial 1151	18
2.4.1. Identificación del equipo	18
2.4.2. Principio de medición	20
2.4.3. Funcionamiento	21
2.5. Principio de los vasos comunicantes	22
2.5.1. Bases físicas del principio	22
2.5.2. Definición del principio	23
2.5.3. Fundamentación matemática	25
2.6. Válvulas de control neumático	27
2.6.1. Definición	27
2.6.2. Partes de válvula de control	28
2.6.3. Actuadores	30
2.6.4. Actuadores tipo diafragma	31
2.6.5. Acciones de un actuador tipo diafragma	32
2.6.6. Posicionador	34
2.6.7. Descripción del proceso	36

3.	Aspectos de importante conocimiento	40
3.1.	Introducción	40
3.2.	Característica de la instrumentación	40
3.2.1.	Instrumentación de medición	40
3.2.2.	Instrumentación de las plantas piloto	44
3.2.2.1.	La instrumentación del montaje para las termocuplas y la RTD	44
3.2.2.2.	La instrumentación de la planta piloto intercambiador de calor	48
3.2.2.3.	La instrumentación de la planta piloto tanque en paralelo	55
3.2.2.4.	La instrumentación de la planta piloto presión en tanques en serie	57
3.2.3.	Proceso realizado por las plantas piloto	65
3.2.3.1.	El proceso que se realiza en la planta piloto intercambiador de calor	65
3.2.3.2.	El proceso que se realiza en la planta piloto tanque en paralelo	67
3.2.3.3.	El proceso que se realiza en la planta piloto presión en tanques en serie	68
3.2.4.	Puesta en marcha de las plantas piloto	70
3.2.4.1.	Puesta en marcha de la planta piloto intercambiador de calor	70
3.2.4.2.	Puesta en marcha de la planta piloto tanque en paralelo	71
3.2.4.3.	Puesta en marcha de la planta piloto presión en tanques en serie	72
4.	Caracterización de una termocupla tipo K, una tipo J y una RTD pt 100 para una escala de temperatura de 0°C a 60°C	75
4.1.	Introducción	
4.2.	Objetivos	75
4.3.	Instrumentación	75
4.3.1.	Instrumentación de medición	76
4.3.2.	Instrumentación de montaje	76
4.3.3.	Otros	76
		76

4.4.	Procedimiento	77
4.5.	Actividades propuestas	82
5.	Caracterización de una electroválvula y un transmisor de caudal dentro de la planta piloto intercambiador de calor	83
5.1.	Introducción	
5.2.	Objetivos	83
5.3.	Instrumentación	83
5.3.1.	Instrumentación de medición	84
5.3.2.	Instrumentación de la planta piloto	84
5.4.	Procedimiento	84
5.5.	Actividades propuestas	85
6.	Caracterización del transmisor de nivel por presión diferencial 1151	89
6.1.	Introducción	
6.2.	Objetivo	90
6.3.	Instrumentación	90
6.3.1.	Instrumentación de medición	91
6.3.2.	Instrumentación de la planta piloto	91
6.4.	Procedimiento	91
6.5.	Actividades propuestas	91
7.	Comprobación del principio de los vasos comunicantes empleando transmisores	94
7.1.	Introducción	
7.2.	Objetivos	95
7.3.	Instrumentación	95
7.3.1.	Instrumentación de medición	96
7.3.2.	Instrumentación de la planta	96
7.4.	Procedimiento	96
7.5.	Actividades propuestas	96
8.	Funcionamiento de una válvula de control	99
8.1.	Introducción	100
8.2.	Objetivos	100
8.3.	Instrumentación	100
8.3.1.	Instrumentación de medición	101
8.3.2.	Instrumentación de la planta	101
		101

8.4.	Procedimiento	102
8.5.	Actividades propuestas	106
	CONCLUSIONES	107
	BIBLIOGRAFIA	110
	Anexo	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una termocupla tipo	5
Figura 2. Termocupla.....	7
Figura 3. Arquitectura física de una RTD.....	8
Figura 4. Esquema de una RTD con 3 hilos.....	9
Figura 5. Dispositivo térmico resistivo.....	9
Figura 6. Transmisor de caudal.....	12
Figura 7. Etiqueta del instrumento.....	13
Figura 8. Esquema del principio de medición.....	13
Figura 9. Descripción de las parte externas del transmisor de caudal.....	14
Figura 10. Vista frontal transmisor de caudal.....	15
Figura 11. Parámetros en el nivel de visualización.....	15
Figura 12. Parámetros en el nivel de modo de pruebas.....	16
Figura 13. Parámetros en el nivel de definición de parámetros.....	17
Figura 14. Vista del transmisor de nivel por presión diferencial 1151.....	19
Figura 15. Vista lateral del transmisor de nivel por presión diferencial 1151	20
Figura 16. Ejemplo clásico del principio de los vasos comunicantes.....	23
Figura 17. Ejemplo de los vasos comunicantes a nivel industrial.....	24
Figura 18. Equilibrio hidrostático.....	24
Figura 19. Partes de una Válvula de Control.....	29
Figura 20. Vista frontal válvula de control.....	30
Figura 21. Función del actuador.....	30
Figura 22. Acciones del actuador.....	32
Figura 23. Actuador de diafragma de acción directa.....	33
Figura 24. Actuador de diafragma de acción reversa.....	33
Figura 25. Actuador de diafragma reversible.....	34
Figura 26. Unidad de acción directa para válvulas rotatorias.....	34
Figura 27. Convertidor I/P (posicionador)	35
Figura 28. Tipos de cuerpo de válvula.....	36
Figura 29. Esquema de la planta presión en tanques en serie.....	37
Figura 30. Multímetro.....	41
Figura 31. Cronometro.....	41
Figura 32. Flexometro.....	42
Figura 33. Manómetro 1.....	43
Figura 34. Manómetro 2.....	43
Figura 35. Manómetro 3.....	43

Figura 36. Manómetro 4.....	43
Figura 37. Variac.....	45
Figura 38. Vista frontal variac.....	45
Figura 39. Caja portadora de termocuplas y RTD.....	46
Figura 40. Focos dentro de la caja.....	46
Figura 41. Fuente de alimentación DC.....	47
Figura 42. Reóstato.....	47
Figura 43. Intercambiador de calor.....	48
Figura 44. Bomba de agua fría.....	49
Figura 45. Bomba de agua caliente (parte superior).....	49
Figura 46. Calentador de agua.....	50
Figura 47. Controlador de Temperatura.....	51
Figura 48. Característica de la válvula proporcional.....	51
Figura 49. Válvula servo controlada.....	52
Figura 50. Termocupla Tipo J y Termopozo.....	53
Figura 51. Esquema interno transmisor de temperatura.....	53
Figura 52. Transmisor de temperatura.....	54
Figura 53. Banco del PLC S7-200 Siemens.....	55
Figura 54. Transmisor de presión diferencial Rosemount 3051.....	56
Figura 55. Bombas sumergibles.....	57
Figura 56. Válvula proporcional neumática.....	58
Figura 57. Tanque de reserva.....	58
Figura 58. Regulador 2 (aire a presión para el convertidor I/P)(izquierda)	59
Figura 59. Regulador 1 (aire a presión para la válvula proporcional)(derecha).....	59
Figura 60. Filtro de aire.....	60
Figura 61. Convertidor I/P.....	61
Figura 62. Controlador UDC Honeywell 3000.....	62
Figura 63. Transmisor de presión.....	63
Figura 64. Tanques en serie (tanque principal y secundario).....	64
Figura 65. Esquema del Intercambiador de calor.....	66
Figura 66. Esquema de la planta tanques en paralelo.....	68
Figura 67. Esquema de la planta presión en tanques en serie.....	69
Figura 68. Vista preliminar de la planta.....	71
Figura 69. Planta tanques en paralelo.....	72
Figura 70. Vista superior de la planta.....	74
Figura 71. Comunicación planta-PLC-CPU.....	74

Figura 72. Posición en la que debe ir el termopar de referencia.....	77
Figura73. Diagrama de bloques del montaje para el uso de las termocuplas.....	77
Figura 74. Visualización física del montaje de las termocuplas.....	78
Figura 75. Diagrama de bloques para el montaje del cálculo de la corriente de excitación.....	80
Figura 76. Diagrama de bloques para el montaje de la RTD.....	81
Figura 77. Panel lateral derecho.....	85
Figura 78. Ajustes en el primer PID.....	86
Figura 79. Ajustes para el segundo PID.....	86
Figura 80. Válvula de perturbación cerrada.....	87
Figura 81. Válvula de perturbación abierta.....	88
Figura 82. Panel lateral para la conexión de equipos.....	92
Figura 83. Posición de los tornillos de ajustes de zero y spam.....	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas de las termocuplas tipo J y K.....	6
Tabla 2. Limitaciones ambientales de termocuplas.....	6
Tabla 3. Valores básicos RTD Pt 100.....	11
Tabla 4. Características técnicas de la RTD Pt 100.....	11
Tabla 5. Características para distintas RTD.....	12
Tabla 6. Especificaciones técnicas del transmisor de caudal 8035.....	18
Tabla 7. Características técnicas del transmisor 1151.....	22
Tabla 8. Parámetros a tener en cuenta en la selección de válvulas de control.....	38
Tabla 9. Características de los manómetros.....	42
Tabla 10. Características técnicas del variac.....	45
Tabla 11. Características de las bombas sumergibles.....	56
Tabla 12. Características básicas válvula proporcional neumática.....	57
Tabla 13. Características de los reguladores de presión.....	59
Tabla 14. Características técnicas del filtro de aire.....	60
Tabla 15. Características del convertidor I/P.....	60
Tabla 16. Características del controlador UDC Honeywell 3000.....	61
Tabla 17. Características del transmisor de presión.....	62
Tabla 18. Características del compresor de aire.....	63
Tabla 19. Posición de cada válvula (practica 3).....	92
Tabla 20. Posición que debe tener cada válvula (practica 4).....	97
Tabla 21. Configuraciones de la válvula (practica 5).....	102

1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de brindar mayor información en el área de instrumentación industrial, se van a desarrollar unas prácticas que conlleven a un mejor entendimiento de los procesos manejados a través de unas plantas pilotos en el laboratorio de automatización de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

Por lo anterior se proporciona un documento con una metodología que ayuda a desarrollar competencias en el área de instrumentación industrial al distinto personal que use dichas plantas, mediante la organización de prácticas con instrumentación que maneje variables como presión, nivel, flujo y temperatura.

Se otorgarán bases suficientes para comprender el funcionamiento de la instrumentación seleccionada, utilizando un fundamento teórico a fin, a lo que se está trabajando, además se elaborarán unas prácticas que permitan al usuario de este documento interactuar un poco más con la instrumentación.

Con la idea de desarrollar un documento más didáctico, se realizó la inclusión de imágenes, diagramas y gráficos que facilitan el entendimiento de cada práctica que se quiere llevar a cabo.

La meta final de este documento es ser un medio de respaldo para profesores y estudiantes de distintos niveles de estudio relacionados con el área.

2. Fundamento de la instrumentación industrial

La instrumentación industrial es la base en la cual se soportan los procesos, existiendo infinidad de fabricantes produciendo en masa equipos que permitan mejorar los actuales, entregando un valor agregado al producto desarrollado.

La instrumentación va evolucionando de tal manera que se va agregando y mejorando las formas de control de procesos a partir de estos equipos; de simples controles de procesos de forma manual, pasando por el control hidráulico y neumático, hasta llegar a los instrumentos con control eléctrico, generando toda una gama de posibilidades para las industrias.

Entendiendo que para cada proceso se puede tener una instrumentación ideal las empresas han buscado la manera de mejorar los equipos en todas sus características, tales como rango, span (alcance), error, exactitud, precisión. Incluso se han desarrollado equipos para trabajos específicos para algunas industrias.

Dependiendo de las funciones que realicen dentro de un proceso la instrumentación se puede clasificar de la siguiente forma:

- Instrumento indicadores
- Instrumentos ciegos
- Instrumentos registradores
- Elementos primarios
- Sensor
- Transmisor
- Transductor
- Convertidores
- Receptores
- Controladores
- Elementos finales de control

Para el desarrollo de este documento se han creado unas prácticas que le permitan al lector obtener competencias en tan importante área, por lo que se emplearon distintos tipos de instrumentación, que serán explicados más adelante en esta sección. Teniendo en mente emplear las variables mayormente encontradas a nivel industrial.

Variables como temperatura, flujo, nivel y presión son los componentes principales que se involucran en este documento, además de realizarse la comprobación de un principio de la física en la instrumentación.

A continuación se hará una lista de la instrumentación principal, además del principio físico usado en una de las prácticas de esta monografía y a cada instrumento se le desarrollará un fundamento donde este se respalde.

- Termocuplas.
 - Tipo K
 - Tipo J
- Dispositivo térmico resistivo (RTD, Pt 100).
- Transmisor de caudal 8035.
- Transmisor de nivel por presión diferencial 1151.
- Principio de los vasos comunicantes.
- Válvula de control neumática.

2.1. Termocuplas

2.1.1. Descripción general

Una termocupla es un transductor de temperatura, es decir, un dispositivo que traduce una magnitud física en este caso la temperatura en una señal eléctrica. Está compuesta por dos alambres de metales diferentes, los que unidos convenientemente generan entre sus extremos libres una diferencia de potencial proporcional a la diferencia de temperatura entre ellos, del orden de los milivoltios la cual aumenta con la temperatura. Su funcionamiento, se basa en un descubrimiento hecho por Seebeck en 1821, el cual sugiere que, si se sueldan dos metales diferentes cuyos extremos están a distintas temperaturas, aparece una fuerza electromotriz llamada fuerza electromotriz Seebeck.

Posteriormente, se mostró que esta f.e.m. proviene en realidad de dos efectos diferentes:

Uno, resultante sólo del contacto entre dos metales distintos y la temperatura de dicha unión. Es llamado efecto Peltier el cual es debido a la difusión de electrones desde el conductor con mayor densidad electrónica al de menor densidad.

El otro es debido a los gradientes de temperatura a lo largo de los conductores en el circuito. Es llamado efecto Thompson y se debe al flujo de calor entre los extremos de los conductores, que es transportado por los electrones, induciendo entonces una f.e.m. entre los extremos de los mismos. Históricamente, se llamó efecto Seebeck a la combinación de los efectos Thompson y Peltier.

2.1.2. Leyes de las termocuplas

Las termocuplas deben cumplir ciertas condiciones o leyes, las cuales son:

1. Ley de metales homogéneos.

"Una corriente termoeléctrica no puede ser sostenida en un único metal homogéneo, sin importar la variación en la sección transversal, por solo la aplicación de calor".

2. Ley de metales intermediarios a temperatura única.

"La suma algebraica de las fuerza electromotriz termoeléctricas en un circuito compuesto por cualquier número de metales distintos es nula si todo el circuito se mantiene a la misma temperatura".

3. Ley de metales intermediarios a diferentes temperaturas.

"La suma algebraica de las fuerzas electromotriz termoeléctricas en dos circuitos compuestos respectivamente por metales $A-B$ y $B-C$ es igual al valor de la f.e.m. de un circuito compuesto por metales $A-C$, siempre que los tres circuitos trabajen a las mismas temperaturas en sus respectivos puntos de junta".

4. Ley de temperaturas intermediarias.

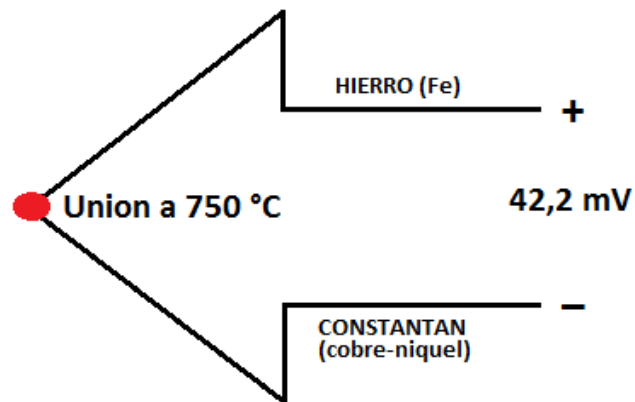
"Se tiene una termocupla (no importa el tipo) que produce una f.e.m. V_1 al trabajar con sus juntas a temperaturas T_1 y T_2 y una f.e.m. V_2 al trabajar con sus juntas a temperaturas T_2 y T_3 , entonces al trabajar con sus juntas a temperaturas T_1 y T_3 producirá una f.e.m. $V = V_1 + V_2$ ".

Las termocuplas son los sensores de temperatura eléctricos más utilizados en la industria, debido a las diferentes ventajas que presta y a la multiplicidad de uso. Existen de diferentes tipos, esto debido al uso de diferentes materiales, entre los cuales se encuentran las que según su tipo de material son conocidas por tipo J y tipo K, que son objeto de estudio en esta práctica.

El valor V_{12} medido en una termocupla no solo depende de los valores de las temperaturas T_1 y T_2 , también depende de los materiales de los alambres A y B involucrados en la construcción de la misma.

En la figura 1 se muestra un esquema de ejemplo de una termocupla cualquiera, pero por los tipos de materiales se distingue que es una termocupla tipo J.

Figura 1. Esquema de una termocupla tipo J



2.1.3. Características

- Presentan el más amplio rango de temperatura con respecto a los otros sensores de temperatura.
- Son resistentes al ambiente. (químicamente)
- Son exactas.
- Son sensibles.
- Autoalimentadas.
- Bajo costo.
- Son menos estables que otros sensores de temperatura
- Debe producir una salida eléctrica medible

A continuación se mostrará la tabla 1, la cual posee las características técnicas más relevantes de las 2 termocuplas que se están utilizando.

Tabla 1. Características técnicas de las termocuplas tipo J y K.

Tipo	Denominación	Composición y símbolo	Rango de Temperaturas (°C)	Diámetro del alambre apropiado	f.e.m. en mV
J	Hierro vs. constatan	Fe – CuNi (Fe vs. Cu + 43 % Ni)	-210 a 1200	3 mm 1mm	-7.89 ... 39,130 (51,875)
K	Níquel-cromo vs. Níquel	NiCr - Ni	0a1000 (1.300)	2 ó 3 mm	0...41,269 (52,398)
	(Chromel vs. Alumel)		0 a 900 (1.200)	1,38 mm	0...37,325 (48,828)

A continuación se mostrará la tabla 2, la cual posee las limitaciones ambientales de las termocuplas, teniendo en cuenta el no uso de termopozo. Para las 2 termocuplas que se están utilizando, se marcó con SI (se puede usar) o NO (no se puede usar).

Tabla 2. Limitaciones ambientales de termocuplas (requiere termopozos o tubos protectores)

Tipo	Atmósfera oxidante	Atmósfera reductora	Atmósfera inerte
J	SI	SI	SI
K	SI	NO	SI

Tabla 2. (Continuación) Limitaciones ambientales de termocuplas (requiere termopozos o tubos protectores)

Tipo	Vacío	Atmósfera sulfurosa	Temperaturas bajo cero	Vapores metálicos
J	SI	NO > 500°C	NO	SI
K	NO	NO	SI	SI

En la figura 2 se mostrará una de las termocuplas a utilizar, la tipo K, en rasgos generales la mayoría de las termocuplas son creadas con esta forma, quizás algunas más grandes u otras más pequeñas.

Figura 2. Termocupla



2.2. Dispositivos térmicos resistivos

2.2.1. Descripción general

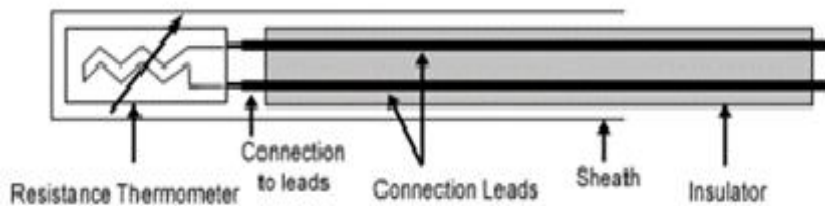
Las RTD o dispositivos térmicos resistivos, al igual que las termocuplas son transductores que sensan una temperatura y entregan un valor eléctrico, su principio de funcionamiento se basa en el hecho de que un metal al calentarse, cambia su valor de resistencia; midiendo el valor de corriente que circula a través de la RTD, se mide la temperatura con precisión.

La RTD más común es la Pt100, consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohm de resistencia y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

Más exactamente consiste en una delgada película de platino dispuesta sobre una película de plástico. Su resistencia varía con la temperatura y puede medir típicamente temperaturas de hasta 850°C. El paso de una corriente a través de la RTD genera una tensión entre sus bornes. Al medir esta tensión, se puede determinar su resistencia y, por tanto, su temperatura. La relación entre la resistencia y la temperatura es relativamente lineal.

La figura 3 muestra la forma interna de un dispositivo térmico resistivo, donde se muestra la resistencia interna de la misma, que irá variando con la temperatura.

Figura 3. Arquitectura física de una RTD.



Nombre de la fuente: National Instruments.

2.2.2. Tipo de conexiones de las RTD

Los dispositivos térmicos resistivos pueden tener ciertos tipos de conexiones que permitirán el aumento de su precisión y el aumento de sus costos. Algunas de estas conexiones son:

➤ Con 2 hilos

El modo más sencillo de conexión es con dos cables, pero es el menos recomendado

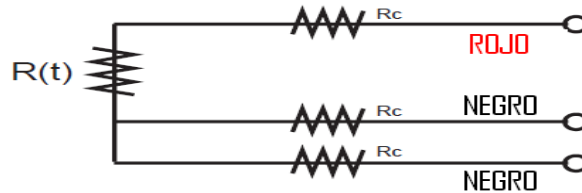
En este caso las resistencias de los cables R_{c1} y R_{c2} que unen la Pt100 al instrumento se suman generando un error inevitable. El lector medirá el total $R(t) + R_{c1} + R_{c2}$ en vez de $R(t)$. Dando un valor de temperatura erróneo.

➤ Con 3 hilos

El modo de conexión de 3 hilos es el más común y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables. El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa casi siempre en el "puente de Wheatstone".

El esquema eléctrico que se muestra en la figura 4, muestra la polaridad y las conexiones de la RTD con 3 hilos.

Figura 4. Esquema de una RTD con 3 hilos.



Nombre de la fuente: Arian, nota técnica 4.

➤ Con 4 hilos

El método de 4 hilos es el más preciso de todos, los 4 cables pueden tener distinta resistencia, que no afectará la medida, pero el inconveniente es que el instrumento lector será más costoso.

El dispositivo térmico resistivo que se implementará en la práctica de laboratorios es de 3 hilos es el que se muestra en la figura 5.

Figura 5. Dispositivo térmico resistivo.



2.2.3. Corriente de excitación

Cualquiera que sea el método de conexión, se debe hacer pasar una cierta corriente I por el elemento sensor de modo de poder medir su resistencia. Esta corriente I llamada "corriente de excitación" la suministra el instrumento lector y es del orden de 0.1 mA a 2 mA dependiendo del modelo y marca del equipo.

Un problema que puede ocurrir es que la "corriente de excitación" genere por efecto Joule ($P=I^2R$) un calentamiento del elemento sensor aumentando su temperatura y produciendo así un error en la lectura.

Todos los dispositivos térmicos resistivos generalmente vienen con una combinación de cables de colores rojo y negro o rojo y blanco. El cable rojo es el terminal de excitación y el hilo negro o blanco el de tierra. Si no está seguro de que cables hay que conectar a cada lado del elemento resistivo, se puede utilizar un multímetro digital para medir la resistencia entre los terminales.

2.2.4. Cálculo de la temperatura con la resistencia

Si la resistencia es cercana a 0Ω , los cables están unidos al mismo nodo. Si el valor de la resistencia se encuentra cercano al de la resistencia nominal (100Ω es un valor común de la resistencia nominal de una RTD), los cables que se están midiendo están en los lados opuestos del elemento resistivo. Por último, consulte las especificaciones de los dispositivos térmicos resistivos para encontrar el nivel de excitación de ese dispositivo.

Las señales de salida de la RTD suelen estar dentro del rango de milivoltios, lo cual las hace sensibles al ruido. El filtro paso bajo está generalmente disponible en los sistemas de adquisición de datos de los dispositivos térmicos resistivos y pueden eliminar eficazmente ruidos de alta frecuencia en las medidas de las señales de los dispositivos térmicos resistivos. Por ejemplo, los filtros paso bajo son útiles para eliminar el ruido de los 50/60Hz de la red eléctrica que prevalece en la mayoría de las configuraciones de los laboratorios y plantas industriales.

Para calcular la resistencia que posee los dispositivos térmicos resistivos a la temperatura con que se está trabajando se resuelve la siguiente fórmula:

$$R_t = R_o (1 + \alpha t)$$

Los nombres correspondientes a las variables de la ecuación son:

R_t = resistencia medida

R_o = resistencia en Ω a 0°C .

t = temperatura actual.

α = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0°C y 100°C es de 0.00385

Aunque no se usará la tabla para caracterizar este dispositivo, el valor obtenido de resistencia se busca en la tabla 3, es la tabla de valores básicos de la RTD Pt 100 que se muestra más adelante, donde se relaciona la temperatura y la resistencia obtenida.

Tabla 3. Valores básicos RTD Pt 100

Temperatura °C	Valor resistivo (Rt)
0	100
10	103.9
20	107.79
30	111.67
40	115.54
50	119.40
60	123.24

2.2.5. Características

- Tienen un alcance de medición hasta 800 °C.
- Son muy estables.
- Son muy exactas.
- Están estandarizadas entre fabricantes.
- Son costosas.
- Requieren de alimentación.
- Tienen baja sensibilidad.
- Presentan autocalentamiento.
- Son lentas a los cambios.
- Relación lineal resistencia temperatura.

En la tabla 4 se mostrarán algunas características técnicas de la RTD pt 100

Tabla 4. Características técnicas de la RTD Pt 100

Tipo de sensor	Rango de t operativo	Exactitud	Conexiones	Otros materiales
Resistencia de platino de 100 ohm → 0°C	-200-850°C	0.5°C	3 cables (rtd,rtd, compensación) 4 cables 2 cables	Níquel Cobre

En la tabla 5 se muestran las características para los dispositivos térmicos resistivos hechos en distintos materiales

Tabla 5. Características para distintas RTD

Metal	Intervalo de temperatura °C	Resistencia a 0°C	Precisión °C	Coefficiente de temp. resistencia
Platino	-200 a 950	25, 100, 130	0.01	0.00385
Níquel	-15 a 300	100	0.50	0.0063
Cobre	-200 a 120	10	0.10	0.00425

2.3. Transmisor de caudal 8035

2.3.1. Identificación del equipo

Si se dirigen a la planta piloto intercambiador de calor, podrán observar al instrumento principal de la segunda práctica y el cual se presentan en la figura a continuación

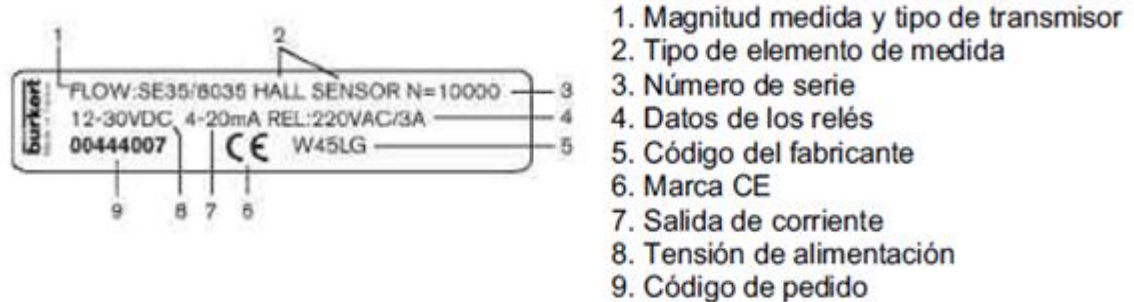
Figura 6. Transmisor de caudal.



Como se evidencia en la figura 6, su conexión se realiza en serie a la tubería en donde se quiere supervisar el flujo. En la figura que se observará en el principio de medición, se muestra porque se conecta de esta forma.

Para identificar qué tipo de transmisor se está utilizando, basta con remitirse a la etiqueta, la cual muestra la información que se observa en la figura 7.

Figura 7. Etiqueta del instrumento.



Nombre de la fuente: Burkert fluid control systems.

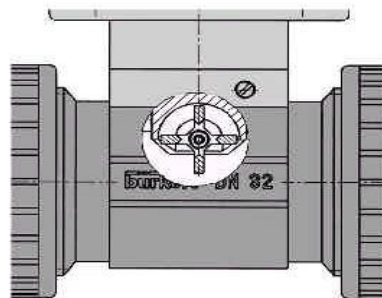
Es importante que identifiquen el tipo de elemento de medida (ítem 2), dependiendo del tipo de elemento variarán las características, puede ser versión hall o versión bobina.

2.3.2. Principio de medición

Cuando fluye líquido a través de la tubería, hace girar una rueda de paletas, en el interior de la cual hay 4 imanes que generan una señal en el transductor del 8035.

La tensión inducida, dependiente de la frecuencia de giro, es proporcional a la velocidad de caudal del fluido. Para convertir la frecuencia en velocidad de caudal se necesita un coeficiente de conversión (factor K), que depende del tamaño y material de la tubería. En la figura 8 se observa el esquema del principio de medición.

Figura 8. Esquema del principio de medición.



Nombre de la fuente: Burkert fluid control systems.

El transductor sin relés emplea un circuito de dos conductores y requiere para su funcionamiento una tensión de entre 12 y 30 VCC. La señal de salida es una señal estándar de 4 a 20 mA, proporcional a la velocidad de caudal.

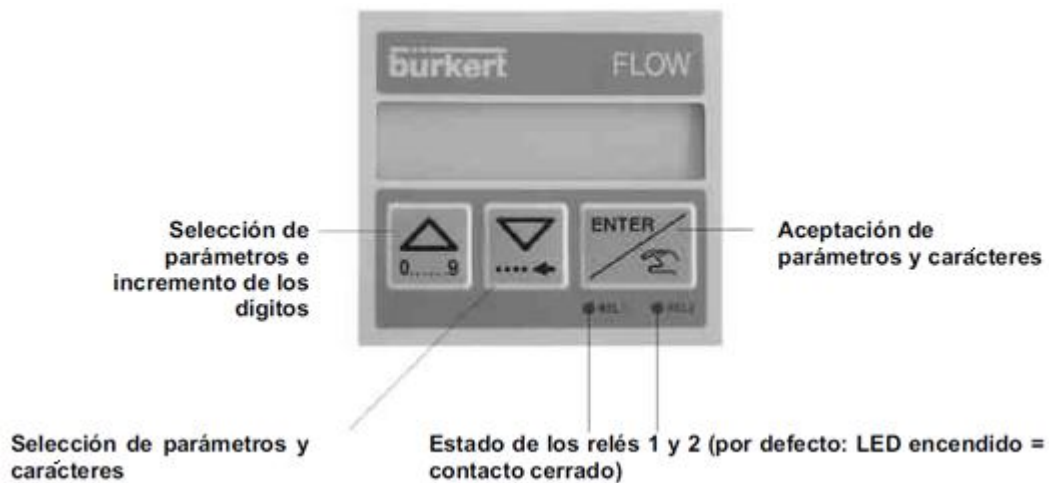
El transmisor de caudal 8035 mide velocidades de caudal a partir de 0,3 m/s (1,0 pies/s, transmisor con sensor de efecto Hall), o de 0,5 m/s (1,7 pies/s, transmisor con bobina de medición).

2.3.3. Funcionamiento

La operación del transmisor es sencilla, tiene un único panel principal con 3 botones de control, que manejan las distintas configuraciones que se le pueden hacer al equipo. Más adelante en este capítulo se mostrara una serie de imágenes con los menús, con las opciones del equipo.

A continuación se muestra la figura 9 con la descripción del panel frontal del equipo.

Figura 9. Descripción de las parte externas del transmisor de caudal.



Nombre de la fuente: Burkert fluid control systems.

En la figura 10 se observa el panel principal, donde se puede identificar, que las unidades están a la derecha y el valor numérico a la izquierda.

Figura 10. Vista frontal transmisor de caudal.



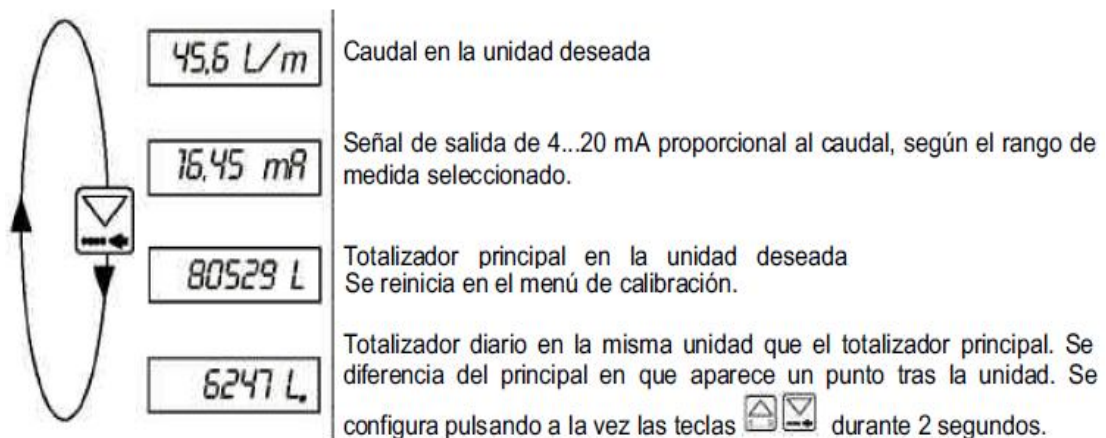
2.3.4. Niveles de funcionamiento

Existen tres niveles de funcionamiento

a) Visualización

El modo normal muestra las lecturas de caudal, intensidad de salida, el totalizador principal y el totalizador diario. También permite reiniciar el totalizador diario. En la figura 11 se muestran los parámetros que se pueden ajustar en este nivel.

Figura 11. Parámetros en el nivel de visualización



Nombre de la fuente: Burkert fluid control systems.

b) Modo de pruebas

En este modo puede simularse un caudal que permite verificar un proceso "en seco".

Este modo también permite visualizar la frecuencia del sensor y hacer modificaciones en la configuración básica (desviación y sensibilidad) de la unidad. En la figura 12 se muestran los parámetros que se pueden ajustar en este nivel.

Figura 12. Parámetros en el nivel de modo de pruebas

Pulse simultáneamente las teclas  durante 5 segundos.

En el menú de pruebas se realizan las siguientes compensaciones y verificaciones.



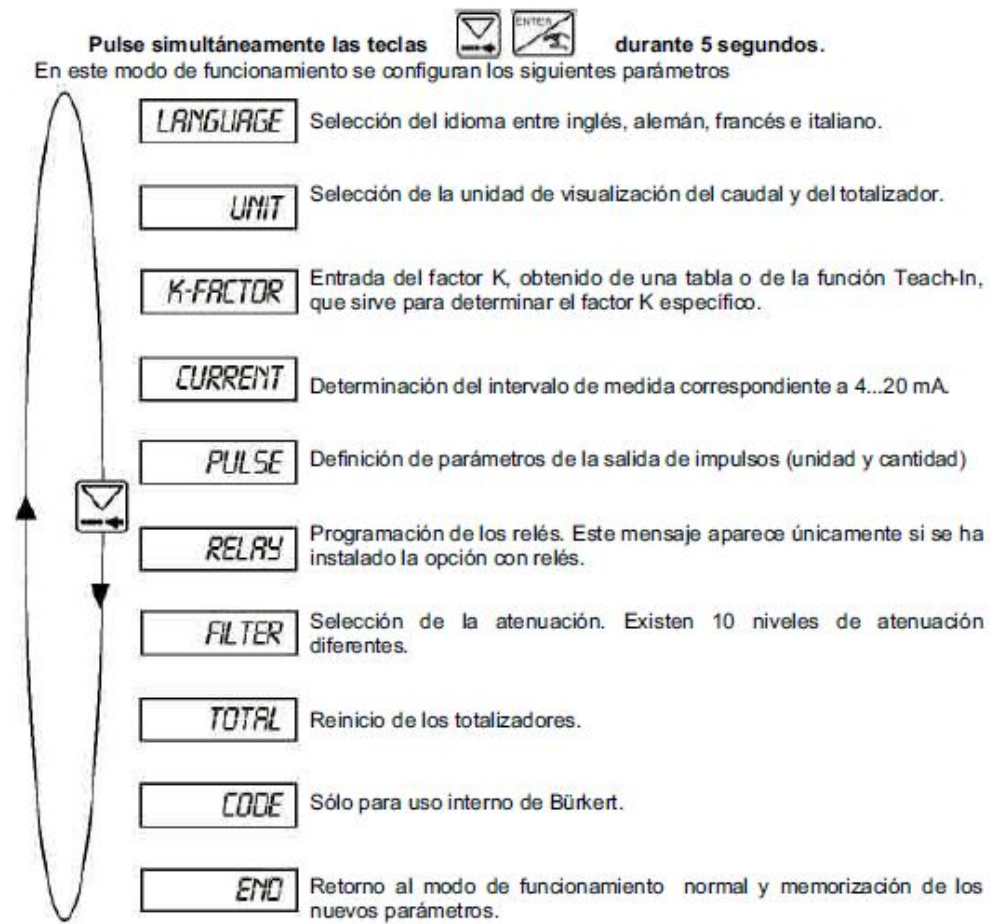
Nombre de la fuente: Burkert fluid control systems.

c) Definición de parámetros

Este menú permite efectuar todos los ajustes necesarios para el funcionamiento del instrumento (idioma, unidades, factor K, intervalo de medida 4...20 mA, salida de impulsos, relés y filtro). También permite reiniciar simultáneamente el totalizador principal y el totalizador diario.

En la figura 13 se muestran los parámetros que se pueden ajustar en este nivel.

Figura 13. Parámetros en el nivel de definición de parámetros



Nombre de la fuente: Bürkert fluid control systems.

Como se mencionó anteriormente, se han mostrado las 3 imágenes que representan las posibles opciones que permite configurar el transmisor. No será necesario hacer ningún cambio en la configuración del equipo ya que este tiene los ajustes adecuados.

Cuando llegue a la parte del procedimiento de la práctica, observarán que sobre el equipo en sí, no habrá ningún contacto, solo se enfocarán en tomar los datos provenientes de los bornes del equipo, que se encuentran en el panel lateral.

A continuación se muestra la tabla 6 contenedora de algunas de las características que posee el transmisor de caudal 8035, se tuvo en cuenta la versión Hall.

Tabla 6. Especificaciones técnicas del transmisor de caudal 8035

Diámetro de tubería	Intervalo de medición (m/s)	Intervalo de caudal	Clase de protección	Linealidad
DN6 a DN65	0.3 a 10	A partir de 0.5 l/min Tubería DN6, velocidad de caudal 0.3 m/s	IP 65	$\leq \pm 0,5\%$ de la escala completa (a 10 m/s)

Tabla 6. (continuación). Especificaciones técnicas del transmisor de caudal 8035

Error de medición	Carga	Señal de salida	Tensión de suministro
Con calibración en línea (Teach-In): $\leq \pm 0,5\%$ de la escala completa (a 10 m/s)	Máx. 900 W a 30 V; Máx. 500 W a 24 V; Máx. 100 W a 15 V;	4...20 mA	Entre 12 a 30 VCC
Con factor K medio estándar $\leq \pm 0,5\%$ de la escala completa + 2,5% de la lectura	Máx. 800 W con suministro de tensión 115/230Vac	Humedad relativa	Temp. ambiente
		80% máximo	0°C hasta 60°C

Nombre de la fuente: Burkert fluid control systems.

2.4. Transmisor de nivel por presión diferencial 1151

2.4.1. Identificación del equipo

El transmisor de nivel por presión diferencial 1151 se encuentra localizado en la planta piloto tanques en paralelo, junto con el transmisor de nivel por presión diferencial 3051, donde ambos debido a sus similitudes se encargan de sensor y transmitir el nivel que se encuentra dentro de los tanques 1 y 2 respectivamente.

Las diferencia entre ambos transmisores de nivel ademas sus circuitos internos, es la localizacion y la forma de los botones de ajuste de cero y alcance.

En este documento para los botones de ajuste de cero y alcance se emplearán las palabras en ingles, "Zero" y "Span", respectivamente. Esto se hace con la finalidad de poder reconocer dichos botones en la instrumentacion.

La señal de voltaje proporcional al nivel entregada por ambos transmisores, se puede obtener en los bornes del panel lateral de la planta, los cuales se encuentran identificados con las siglas siguientes LT1 y LT2.

La figura 14 y la figura 15 que se muestrána continuacion, corresponden al instrumento principal de esta práctica el transmisor de nivel por presión diferencial 1151, en la primera se muestra el transmisor destapado de un lado, en el cual se muestra los botones de ajustes de Zero y Span, si se destapará del otro lado se encontrarían las conexiones que van a los bornes para transmitir el nivel que sensa el transmisor.

Figura 14. Vista del transmisor de nivel por presión diferencial 1151



En la figura 15 se muestra el transmisor de nivel, y la conexión del transmisor al tanque del lado de alta, recordando que el lado de baja se deja al aire sometido a la presión atmosférica.

Figura 15. Vista lateral del transmisor de nivel por presión diferencial 1151



2.4.2. Principio de medición

Para realizar la medición de nivel en un proceso existen diferentes dispositivos según sea el método de medición que se empleará, en este caso el transmisor 1151 transmite nivel debido a diferencias de presiones.

Este método de presiones manométricas y/o de presión diferencial se basa en la medición de la presión hidrostática correspondiente a una columna de líquido de una altura determinada, para esto se deberá partir de un principio básico de la hidrostática, el cual es el principio de pascal.

Este principio dice que la presión ejercida en cualquier lugar de un fluido encerrado e incompresible se transmite por igual en todas las direcciones en todo el fluido, es decir, la presión en todo el fluido es constante; visto de forma matemática sería: $P = P_o + h \cdot \rho \cdot g$, donde:

P = presión

P_o = presión sobre la superficie libre del fluido

h = altura de la columna de líquido

g = aceleración de la gravedad

ρ = densidad relativa

Partiendo de la expresión física que manejan estos dispositivos $P = h \cdot \rho \cdot g$; se omite la presión P_0 , debido a que estos dispositivos traen compensación para la presión atmosférica, que en este caso sería la presión sobre la superficie libre del fluido, recordando que los tanques no se encuentran cerrados.

Y teniendo en cuenta que si no hay variaciones de temperatura, de desnivel u otras variables externas que afecten la columna de líquido, la densidad efectiva (ρg) del medio será constante, por lo tanto la presión ejercida por la columna de agua será igual a la altura que posea la misma; esta presión se medirá con un transmisor de presión manométrica o de presión diferencial.

2.4.3. Funcionamiento

Entonces para tomar una medición exacta se debe colocar la entrada del transmisor lo más cerca posible al fondo del tanque, y así se obtendrá la presión real ejercida por la columna de agua.

Luego de tomar o sensar la presión ejercida por la columna de agua, el transmisor envía una señal eléctrica o neumática dependiendo del dispositivo, al centro de mando donde se realiza el control o supervisión de lo enviado; en el caso de transmisor que se encuentra en la planta, la señal será eléctrica e irá entre los rangos de trabajo que son de 4 a 20 mA, donde 4mA representará el nivel mínimo, quizás cero, y la señal de 20mA se considerará como el tope o el máximo nivel de llenado del tanque en cuestión.

En casos donde se trabajen con tanques abiertos o no presurizados se puede usar un transmisor de presión o un transmisor de presión diferencial; para tanques cerrados presurizado (presión mayor que la atmosférica, es decir $P_{atm} \neq 1$), se debe usar transmisores de presión diferencial.

En la tabla 7, se muestran algunas de las características técnicas del transmisor 1151.

Tabla 7. Características técnicas del transmisor 1151

Exactitud	Rangos	Configuraciones	Salidas electrónicas	Fuente de aliment.
+/- .25%	30" w.c.to 6000 psi	Absoluta Manométrica Presión de línea alta Nivel para líquidos	4-20 mA linear\analog 10-50 mA linear\analog 4-20 mA sq.rt.\analog .8-3.2 V linear\low power 1-5 V linear\low power	45 Vdc max
				Material del sensor
				316 sst

2.5. Principio de los vasos comunicantes

2.5.1. Bases físicas del principio

Partiendo de la ecuación fundamental de la hidrostática o estática de fluidos se puede llegar a diferentes observaciones físicas, una de ellas es el principio de pascal, el cual se puede resumir en una frase: la presión ejercida en algún lugar de un fluido encerrado e incompresible se transmite por igual en todas las direcciones en todo el fluido; a pesar que en la planta con la que se trabajará no se tiene el fluido encerrado por completo, si se aplica el principio de pascal, ya que ambos tanques están siendo sometidos a una misma presión en la superficie libre del fluido, la cual es la presión atmosférica.

Cuando se tiene un recipiente que contiene un fluido, se puede observar que las capas superiores oprimen a las inferiores, generándose una presión debida al peso; por lo que la presión en la base del recipiente será mayor a medida que gana altura la columna de líquido que tenga por encima suyo.

Haciendo el análisis de la fórmula general de la hidrostática $P = P_o + h \cdot \rho \cdot g$, donde:

P = presión

P_o = presión sobre la superficie libre del fluido

h = altura de la columna de líquido

g = aceleración de la gravedad

ρ = densidad relativa

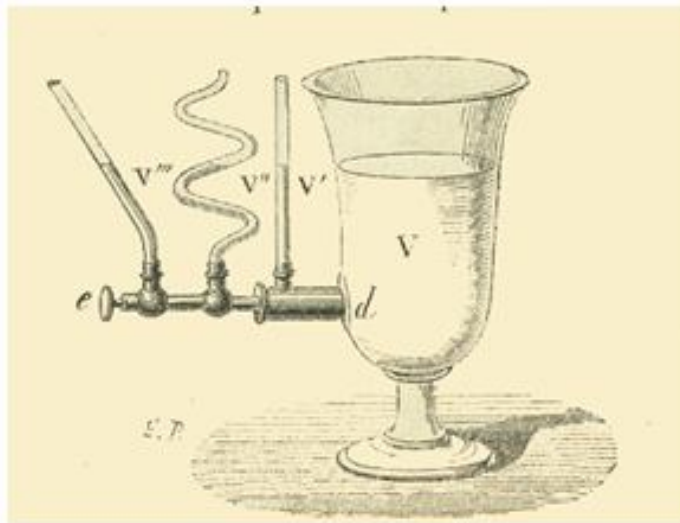
Se puede concluir que la presión en la base del tanque solo se ve afectada por la altura, ya que como se dijo antes, la presión sobre la superficie libre del fluido, la aceleración de la gravedad y la densidad relativa son constantes, lo que deja la altura como parámetro definitivo.

2.5.2. Definición del principio

Pasando a la observación física más relevante que se observará en esta práctica, los vasos comunicantes. Si se tiene dos o más recipientes, con igual o diferente forma, con igual o distinta capacidad, y se vierte un fluido dentro de dichos recipientes, la altura que alcanza el fluido es la misma para todos ellos.

En la figura 16 se puede observar lo que se venía diciendo, no importa la forma ni el volumen, un líquido compartido entre varios envases con la misma altura, el líquido alcanzará una altura similar en todos los envases.

Figura 16. Ejemplo clásico del principio de los vasos comunicantes.

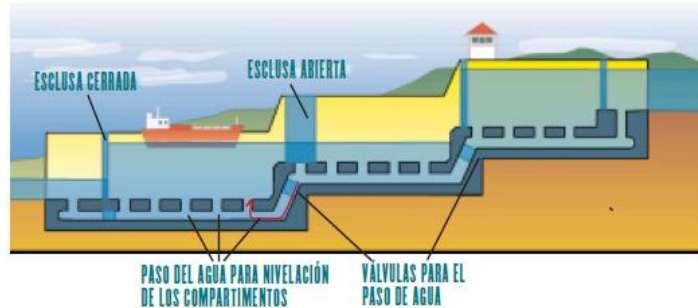


Nombre de la fuente: Técnicas e instrumentos para la enseñanza de las leyes físicas del siglo XIX.

A pesar de lo sencillo del principio, es utilizado a nivel industrial, como por ejemplo el canal de Panamá, que al usar sus esclusas hace pasar el agua de un sector a otro para igualar el nivel y que el barco siga navegando, como se muestra en la figura.

Para demostrar lo explicado anteriormente se muestra la figura 17.

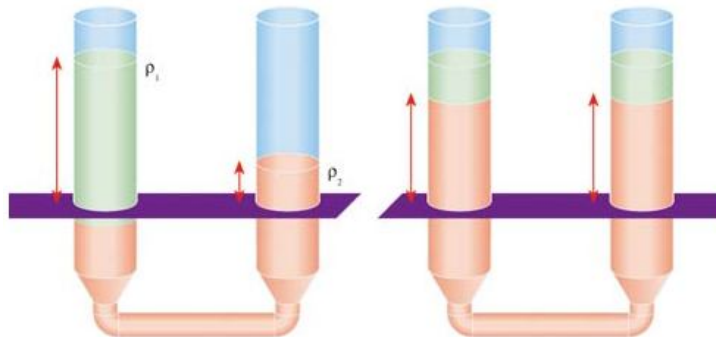
Figura 17. Ejemplo de los vasos comunicantes a nivel industrial



Nombre de la fuente: infografía de Juan Emilio serrano

Teniendo el caso que se ponen en comunicación dos depósitos que contienen un mismo líquido como se muestra en la figura 18; que inicialmente están a distinta altura, el nivel de uno de los depósitos baja, y sube el del otro hasta que ambos se igualan. Los conductores se comportan de modo análogo: cuando dos conductores que están a distinto potencial se conectan entre sí. La carga pasa de uno a otro conductor hasta que los potenciales en ambos conductores se igualan.

Figura 18. Equilibrio hidrostático.



Sin embargo si a los vasos se añaden líquidos diferentes, las alturas que ocupan los líquidos es la siguiente. El más denso de todos estará abajo y el más ligero ocupará la altura más alta. En medio los demás líquidos según razón inversa de su densidad.

A pesar de que Galileo llegó de manera experimental al principio de los vasos comunicantes, existe una explicación matemática basada en la hidrostática, que permite determinar la altura equivalente del fluido en los tanques que se encuentra intercomunicados.

2.5.3. Fundamentación matemática

La ecuación matemática para determinar la altura es:

$$S_1 h_{01} + S_2 h_{02} = (S_1 + S_2) h_{eq}, (\text{ec. 1})$$

Dónde:

S_1 = área de la base del tanque 1

S_2 = área de la base del tanque 2

$S_1 h_{01}$ = el volumen del agua para la altura inicial del tanque 1

$S_2 h_{02}$ = el volumen del agua para la altura inicial del tanque 2

h_{eq} = Nivel final en ambos tanques

La ecuación para determinar el tiempo es:

$$\sqrt{h_1 - h_{eq}} - \sqrt{h_{01} - h_{eq}} = -2t \frac{S}{S_1} \sqrt{2g \left(1 + \frac{S_1}{S_2}\right)}, (\text{ec. 2})$$

Dónde:

$h_1 = h_{eq}$ y $h_{01} > h_{eq}$

S = área del tubo de comunicación

g = aceleración de la gravedad

t = tiempo de equilibrio

En el caso de tanques cilíndricos $S_1 = \pi(r_1)^2$, $S_2 = \pi(r_2)^2$, $S = \pi(r)^2$

Ejemplo:

Se tienen 2 tanques con los diámetros que se muestran en la parte inferior, además se conoce el diámetro del tubo de comunicación.

Diámetro tanque1 = 86cm aprox.

Diámetro tanque2 = 102cm aprox.

Diámetro del tubo de comunicación = 7cm aprox.

Calcule el nivel equivalente que deben tener los tanques cuando se comunican, y el tiempo en alcanzar el equilibrio, suponiendo que la altura en los tanque son: $h_{01} = 60\text{cm}$ y $h_{02} = 39.5\text{cm}$

Solución:

Radio tanque1 = 43cm aprox.

Radio tanque2 = 51cm aprox.

Radio del tubo de comunicación = 3.5cm aprox.

$$S_1 = \pi(r_1)^2 = \pi(43\text{cm})^2 = 1849 \pi \text{ cm}^2$$

$$S_2 = \pi(r_2)^2 = \pi(51\text{cm})^2 = 2601 \pi \text{ cm}^2$$

$$S = \pi(r)^2 = \pi(3.5\text{cm})^2 = 12.25 \pi \text{ cm}^2$$

Desarrollando la ec. 1:

$$S_1 h_{01} + S_2 h_{02} = (S_1 + S_2) h_{eq}$$

$$(1849\pi\text{cm}^2)(60\text{cm}) + (2601\pi\text{cm}^2)(39.5\text{cm}) = (1849\pi\text{cm}^2 + 2601\pi\text{cm}^2)(h_{eq})$$

$$110940\pi\text{cm}^3 + 102739.5\pi\text{cm}^3 = (4450\pi\text{cm}^2)(h_{eq})$$

$$h_{eq} = \frac{213679.5\pi\text{cm}^3}{4450\pi\text{cm}^2}$$

$$h_{eq} = 48.01\text{cm}$$

Ahora se pasa a determinar el tiempo de establecimiento, recordando que:

$$h_1 = h_{eq} \text{ y } h_{01} > h_{eq}.$$

Y desarrollando la ec.2:

$$\sqrt{h_1 - h_{eq}} - \sqrt{h_{01} - h_{eq}} = -2t \frac{S}{S_1} \sqrt{2g \left(1 + \frac{S_1}{S_2}\right)}$$

$$-\sqrt{60\text{cm} - 48.01\text{cm}} = -2t \frac{12.25\pi\text{cm}^2}{1849\pi\text{cm}^2} \sqrt{2 \left(\frac{980\text{cm}}{\text{s}^2}\right) \left(1 + \frac{1849\pi\text{cm}^2}{2601\pi\text{cm}^2}\right)}$$

$$\left[\sqrt{11.99\text{cm}}\right]^2 = \left[0.01325t \sqrt{\left(\frac{1960\text{cm}}{\text{s}^2}\right) (1.71088)}\right]^2$$

$$11.99cm = 0.0001755t^2 \left[\left(\frac{3353.32cm}{s^2} \right) \right]$$

$$11.99cm = t^2 \left[\left(\frac{0.588cm}{s^2} \right) \right]$$

$$\frac{11.99cms^2}{0.588cm} = t^2$$

$$20.39s^2 = t^2$$

$$t = 4.52s$$

Este tiempo obtenido debe ser el demorado por los 2 tanques para encontrar el equilibrio o nivelación, teniendo en cuenta que el sistema no es ideal se debe considerar un tiempo prudente.

Observando el ejemplo anterior, se puede identificar las ecuaciones matemáticas, que permiten la comprobación de este principio de la física, que como se dijo antes viene desde Galileo.

Algo que parece tan obvio como el principio de los vasos comunicantes tiene sus bases matemáticas y físicas, como la mayoría de los fenómenos de la naturaleza, y los ingenieros, y personas relacionadas con esta área, deben entender que la instrumentación también debe cumplir dichos principios o leyes universales.

2.6. Válvulas de control neumático

2.6.1. Definición

La planta que será usada para esta práctica es una clara muestra de un proceso neumático, por lo que se hace importante entender que un proceso neumático es aquel en donde se usa aire por lo general presurizado para que dispositivos o mecanismos realicen funciones dentro de un proceso.

En este caso el mecanismo el cual necesita aire comprimido es una válvula proporcional contralada por aire para abrir. La definición conocida de una válvula dice que es un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular el paso de líquidos o gases.

Partiendo de lo que es una válvula, se dará una definición de lo que es una válvula proporcional, entonces una válvula proporcional es aquella que a su salida entrega un caudal o una presión proporcional a una señal de control que puede ser de tipo eléctrica o neumática.

Por lo anterior se entiende que estas válvulas proporcionales están especializadas en manejar caudales o presiones, por eso se pueden clasificar según esos dos tipos de válvulas.

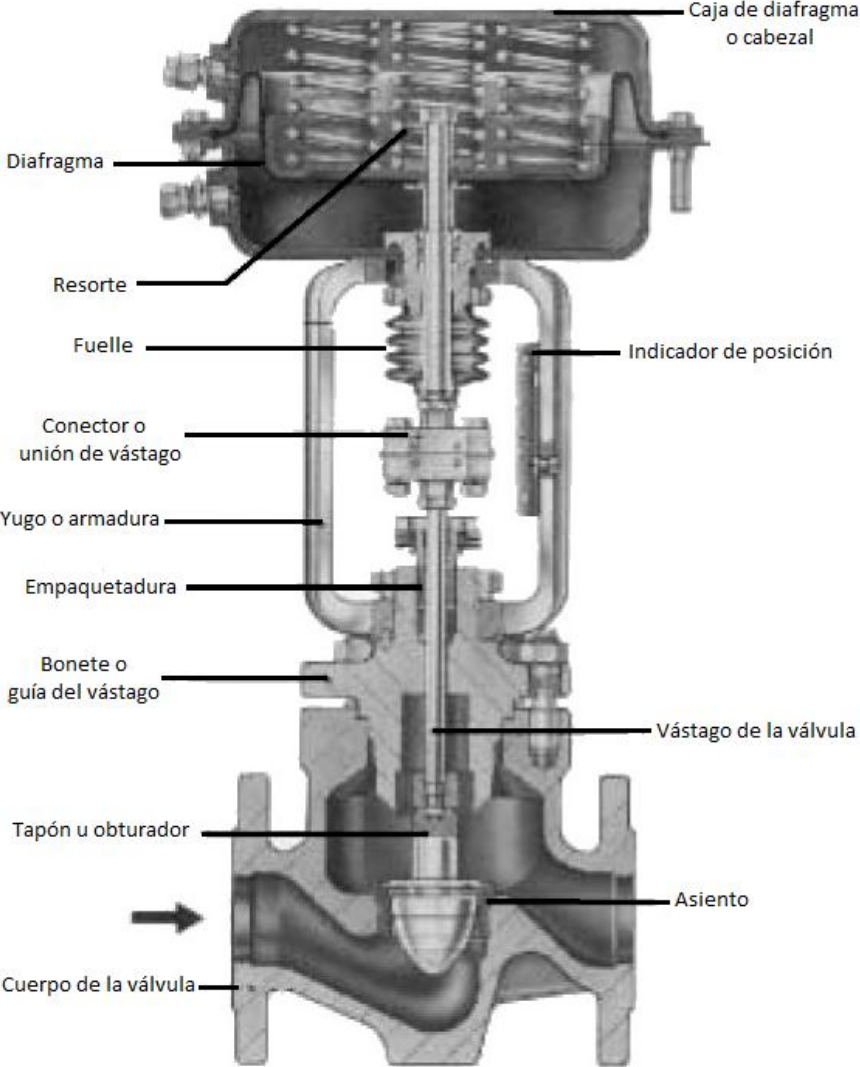
Al hablar de una señal de control, se debe entender que es una válvula controlada o también conocida como válvula de control. Una válvula automática de control, generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de un proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal o una presión en una forma determinada.

2.6.2. Partes de válvula de control

Las válvulas de control constan básicamente de dos partes que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo. El actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte. El cuerpo de la válvula está provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma.

A continuación en la figura 19, se mostrará una válvula de control neumática tipo diafragma como la usada en la planta del laboratorio, donde se muestran todas las partes que conforman a un instrumento como este:

Figura 19. Partes de una Válvula de Control



Nombre de la fuente: Emerson processmanagement, control valvehandbook.

Si se observará la figura 20 y se compara con la mostrada anteriormente, se hará mucho más fácil identificar las partes de la válvula de control con que se está trabajando.

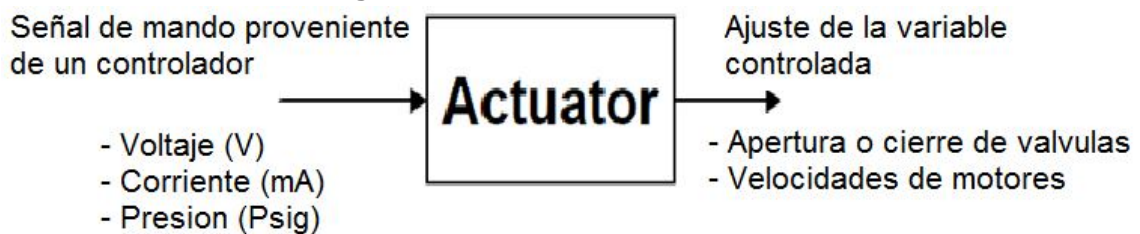
Figura 20. Vista frontal válvula de control.



2.6.3. Actuadores

Los actuadores convierten una señal de mando proveniente de un controlador o de un componente de mayor nivel en ajuste físicos en una variable de un proceso; En la figura 21 se puede ver un esquemate de lo mencionado. En la actualidad se encuentran dos tipos de actuadores, los lineales y los rotatorios.

Figura 21. Función del actuador.



Los actuadores lineales generan una fuerza en línea recta, tal como haría un pistón. Los actuadores rotatorios generan una fuerza rotatoria, como lo haría un motor eléctrico.

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son para simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren mucho equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

Como se mencionó anteriormente las válvulas de control pueden ser operadas neumáticamente, eléctricamente, hidráulicamente o por una combinación entre estas, la primera es la mayormente usada. Las fuerzas que estos actuadores deben superar son causadas por la caída de presión a través de la válvula, la fricción entre el fluido y las partes móviles, el peso de estas partes y el desbalance del vástago que se hace significativo para grandes caídas de presión.

2.6.4. Actuadores tipo diafragma

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Las válvulas de control con actuador del tipo neumático pueden ser de dos tipos, el primero es el de resorte y diafragma, y el segundo es el de cilindro o pistón. En este caso es una válvula tipo diafragma; las válvulas de este tipo pueden tener la combinación de aire para bajar, también conocida como aire para cerrar, o pueden tener la combinación de aire para subir, equivalente a aire para abrir.

Aquí lo importante es saber por cual lado ingresa la señal neumática proveniente del controlador o del posicionador. Si es por la parte superior del diagrama, obliga a que la deformación de éste, origine un desplazamiento del vástago hacia abajo, en cambio si el aire ingresa por debajo del diagrama, el movimiento será hacia arriba.

Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago. Teniendo en cuenta que el rango de presión de trabajo es de 3 a 15 lb/pulg² en la mayoría de los actuadores se selecciona el área del diafragma

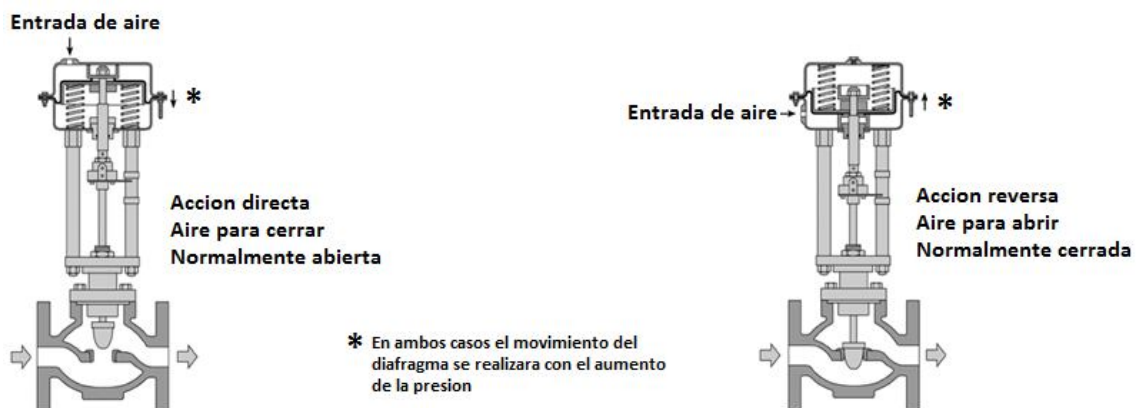
y la constante del resorte de tal manera que un cambio de presión de 12 lbs/pulg², produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera.

Si la válvula es accionada con aire para cerrar, el descenso del vástago debido a la acción de la señal neumática hará que la misma se vaya cerrando permitiendo que se controle el paso de la presión en forma continua. Si la válvula es accionada con aire para abrir, el descenso del vástago hará que la misma se vaya abriendo conforme se aplique la señal neumática.

La variación de la acción de la válvula, se puede lograr fácilmente con un actuador reversible, sin embargo esto puede resultar costoso. Afortunadamente también se puede dar con un actuador no reversible, no necesariamente cambiando la válvula, sino con la ayuda de un posicionador de válvula.

Existen actuadores de diagrama reversibles, en los cuales el aire origina un movimiento del vástago hacia abajo o arriba según la forma de colocación del actuador. En la figura 22 se ejemplifica esto:

Figura 22. Acciones del actuador.



Nombre de la fuente: Spiraxsarco.

2.6.5. Acciones de un actuador tipo diafragma

Los actuadores de diafragma que son operados neumáticamente usan el suministro de aire proveniente desde el controlador, posicionador o de otra fuente para realizar sus funciones.

Pero lo más importante en este tipo de actuador es que depende de su diafragma y de la posición de este, por lo que dependiendo de la forma en que este colocado el diafragma puede realizar más eficientemente una función determinada, las posibles funciones del diafragma son:

Acción directa: el incremento en la presión del aire empuja hacia abajo el diafragma y extiende el vástago del actuador.

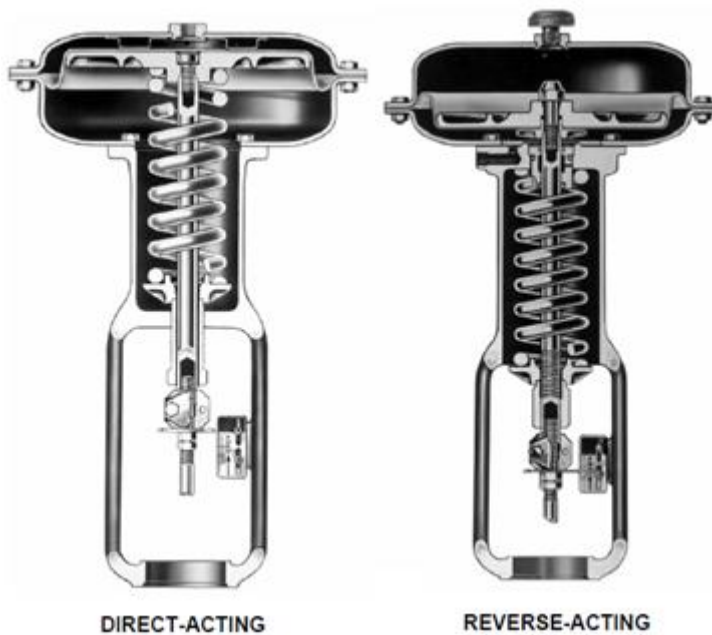
Acción reversa: el incremento en la presión del aire empuja hacia arriba el diafragma y retrae el vástago del actuador.

Reversible: son actuadores que pueden ser ensamblados tanto para acción directa como reversa.

Unidad de acción directa para válvulas rotatorias: el incremento de la presión del aire empuja hacia abajo el diafragma que bien puede abrir o cerrar la válvula, dependiendo de la orientación de la palanca del actuador en el eje de la válvula.

Las acciones directa e inversa de los actuadores con diafragma se muestran en las figuras 23 y 24 respectivamente.

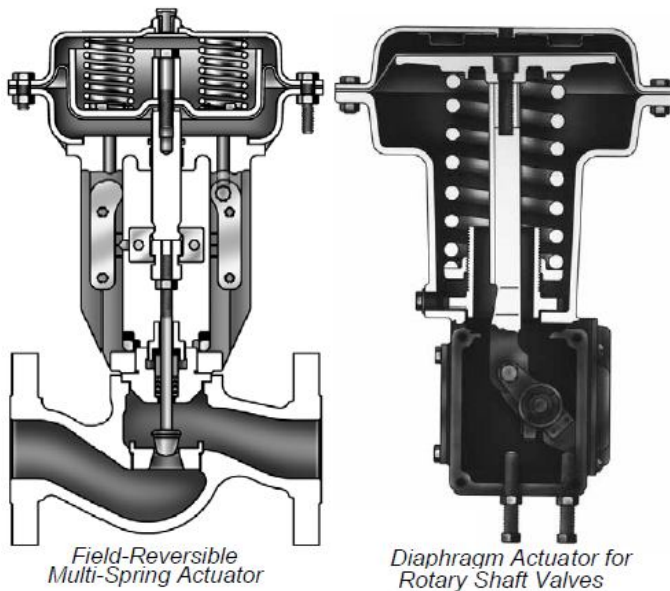
Figura 23. Actuador de diafragma de acción directa. **Figura 24. Actuador de diafragma de acción reversa.**



Fuente: Emerson process management, control valve handbook. **Fuente: Emerson process management, control valve handbook.**

Las acciones de los actuadores con diafragma reversible y de unidad de acción directa para válvulas rotatorias, se muestran en las figuras 25 y 26 respectivamente.

Figura 25. Actuador de diafragma **Figura 26. Unidad de acción directa reversible para válvulas rotatorias.**



Fuente: Emerson process management, control valve handbook.

2.6.6. Posicionador

Cabe mencionar que algunas veces estas válvulas usan un posicionador de válvula, que es básicamente un dispositivo encargado de sensar la señal de un controlador y la posición del vástago de una válvula, esto lo hace con la idea de asegurar que la posición del vástago corresponde a la señal de salida del controlador.

En la actualidad existen distintos tipos de posicionadores, entre los cuales se encuentran los posicionadores neumáticos, convertidores I/P y el controlador digital.

El posicionador neumático trabaja de la siguiente forma, una señal neumática, usualmente entre 3 a 15psig es suministrada al posicionador, dependiendo de la presión que maneje la señal, el posicionador debe

sumínstrale la presión necesaria al actuador para que la válvula realice una operación correspondiente a la requerida por la señal inicial, que puede ser abrir, cerrar o tomar una posición equivalente a la señal inicial.

El posicionador análogo I/P o convertidor I/P, al igual que el posicionador neumático, recibe una señal, pero esta es eléctrica, que va entre 4 a 20 mA. Dependiendo del amperaje de la señal este enviará una señal neumática al actuador de la válvula para que esta tome la posición indicada dentro de su rango.

El controlador digital a pesar de que funciona muy similar como el posicionador análogo I/P, su lógica diferencia es que este trabaja con señales digitales y distintos protocolos de comunicación, ya sea hart o cualquier otro.

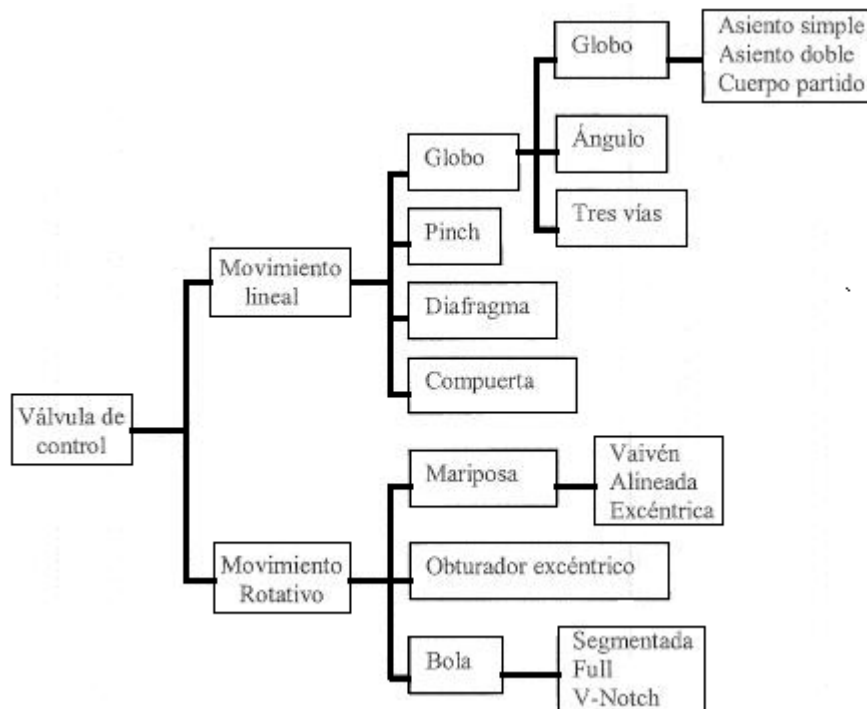
En la figura 27 se muestra el posicionador usado en la planta, es el posicionador de la válvula proporcional neumática, es del tipo convertidor I/P.

Figura 27. Convertidor I/P (posicionador).



Independientemente del actuador o posicionador que se utilice, se debe seleccionar un cuerpo de válvula adecuado para cada proceso, evitando las pérdidas en un proceso, para esto es conveniente consultar al proveedor ya que como se observará en la figura 28, existen distintos tipos de cuerpos para una válvula de control.

Figura 28. Tipos de cuerpo de válvula.



2.6.7. Descripción del proceso

La figura 29 esquematiza claramente la planta de trabajo, se tiene una señal eléctrica de 4 a 20mA que llega al convertidor I/P, el cual es el posicionador de la planta piloto; al igual que la señal eléctrica también llega una señal de 20psi al convertidor I/P, esa es la presión necesaria para que el posicionador pueda enviar aire comprimido al actuador, más precisamente al diafragma para que este realice el desplazamiento correspondiente.

Por otro lado se encuentra el proceso y la válvula regulando la variable que se esté manejando. En el caso de la planta es la presión enviada al tanque principal.

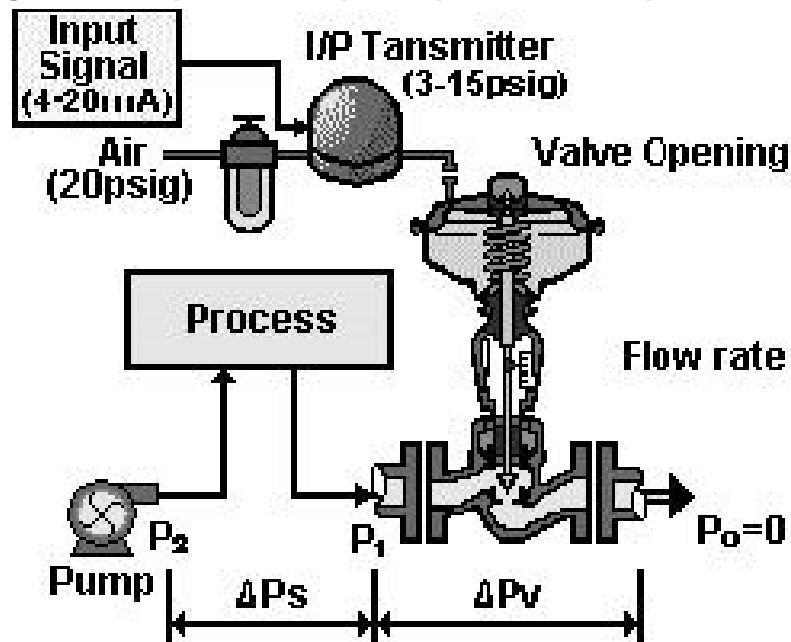
Para cada proceso no existe una válvula que sea 100% eficiente, por lo que se hace necesario que se haga una buena selección no solo de la válvula

sino también del actuador y del posicionador a utilizar, y de la compatibilidad entre estos instrumentos.

También hay que tener en cuenta que en caso de alguna emergencia la instrumentación escogida pueda soportar los efectos a los que puedan ser sometidos, por lo que es necesario hacer una sobredimensión de los instrumentos. Sin embargo hay que ser prudentes en el sobredimensionamiento de las válvulas.

Como se venía diciendo el esquema que se observa en la figura 29 muestra parte de la planta piloto tanques en serie resaltando las partes que se han estado estudiando.

Figura 29. Esquema de la planta presión en tanques en serie.



Nombre de la fuente: professorDaeRyook Yang,actuador and control valveselection.

El sobredimensionamiento de las válvulas a veces ocurre cuando se trata de optimizar el rendimiento del proceso a través de una reducción de la variabilidad del proceso. El sobredimensionamiento de las válvulas afecta la variabilidad del proceso de dos maneras.

Primero una válvula sobredimensionada pone demasiada ganancia a su salida, dejando menos flexibilidad en el ajuste del controlador. La segunda manera en que el sobredimensionamiento afecta al proceso es que una

válvula sobredimensionada produce un cambio desproporcionado en el caudal, dificultando el manejo en ciertos puntos, por ejemplo para flujos bajos o intermedios, además puede provocar una lenta respuesta en el proceso.

Para hacer una buena selección de una válvula de control hay que conocer las distintas características del proceso a controlar, pero no solo las internas del proceso sino también las externas como la temperatura externa al proceso. Las válvulas de control manejan todo tipo de fluidos a temperaturas bajo cero hasta temperaturas cercanas a los 500°C.

En la selección de una válvula de control se debe tener en cuenta que cuerpo de válvula, que actuador y que posicionador se escogerá, existen otros parámetros de selección de válvula a tener en cuenta, entre ellos se encuentran los que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Parámetros a tener en cuenta en la selección de válvulas de control.

Tipo de fluido a ser controlado	Temperatura del fluido	Viscosidad del fluido
Gravedad específica del fluido	Capacidad de flujo requerida	Presión de entrada en la válvula
Presión de salida	La caída de presión durante el paso del flujo en condiciones normales	Grados de sobrecalentamiento o la existencia de intermitencias
Caída de presión al cierre	Tamaño de la tubería de entrada y salida	Máximo nivel de ruido permitido
Información especial etiquetada requerida	Material del cuerpo	Acción deseada encase de falla de aire
Instrumentos suministradores de aire disponible.	Señal de instrumento (3 to 15 psig, 4 to 20 mA, Hart, etc.)	La acción de flujo (el flujo tiende a abrir la válvula o el flujo tiende a cerrar la válvula)
Número de tipo de válvula	Tamaño de la válvula	Construcción del cuerpo de la válvula
Acciones de la válvula (presionar para abrir o cerrar)	Tamaño del actuador	Entre otros parámetros

Nombre de la fuente: Nombre de la fuente: Emerson processmanagement, control valvehandbook.

Es prácticamente imposible conseguir la válvula ideal para cada caso concreto, puesto que el número de combinaciones posibles de materiales y formas es tan grande, que si se adaptan a una rígida imposición de requisitos, resultarían una construcción y un mantenimiento antieconómicos. Por lo anterior hay que tener presente las razones económicas con las exigencias técnicas y adoptar un suficiente pero limitado número de parámetros para la selección de la válvula deseada.

La seguridad de la instalación y del proceso son los factores que imponen una primera clasificación en la escogencia de tipos de válvulas, como ejemplo se tiene el caso de fallo del suministro de aire al diafragma, ahí será conveniente a veces que quede interrumpido o regulado el flujo; otras veces, al contrario, será preferible que la válvula quede completamente abierta. En un primer caso, una válvula que abra con aire y cierre automáticamente si se corta la presión. En el segundo caso, una válvula que cierre con aire y abra automáticamente si se corta la presión.

3. Aspectos de importante conocimiento

3.1. Introducción

Con la finalidad de conocer la instrumentación implicada en las prácticas que se propondrán posteriormente, se llevó a cabo una breve descripción de dichos equipos; así como la explicación del proceso llevado a cabo por las plantas piloto y la puesta en marcha de las mismas.

Para la instrumentación principal de cada práctica, se elaboró una completa demostración de su funcionamiento, en los fundamentos expuestos en el capítulo anterior.

3.2. Característica de la instrumentación

Para facilitar el estudio de la instrumentación, se dividirá en la instrumentación de medición y en la de las plantas pilotos del laboratorio de control.

3.2.1. Instrumentación de medición

Para la realización de las prácticas que se propondrán en este documento, se necesitará de la instrumentación adecuada que permita hacer la recolección de datos que se describirán más adelante.

Los instrumentos de medición son los siguientes:

✓ **Multímetro**

✓ **Medición de temperatura**

Un multímetro del laboratorio acondicionado con su termopar de sensado de temperatura, el cual servirá como temperatura de referencia dentro del sistema.

✓ **Medición de voltaje**

Un multímetro del laboratorio acondicionado con sus respectivas extensiones para la medición de los voltajes entregados por las termocuplas.

A continuación en la figura 30 se muestra un multímetro con sus puntas, como dice la norma internacional, la de color rojo se usa en la polaridad positiva y la de color negro se conecta en la polaridad negativa. Para la conexión del termopar simplemente se sacan las puntas de medición y se conectan las terminales del termopar al multímetro.

Figura 30. Multímetro.



✓ **Cronometro**

Básicamente puede ser cualquier cronometro, lo importante es que continúe el conteo y que se pueda tomar un valor de tiempo sin que se detenga su marcha. A continuación se muestra la figura 31 donde aparece uno útil para la práctica, sin embargo mientras cumpla la condición mencionada anteriormente cualquiera sirve.

Figura 31. Cronometro



✓ **Metro con escala en centímetros (cinta métrica)**

Para ciertos cálculos se necesitará tener el diámetro de la tubería por lo que resultaría conveniente poseer una cinta métrica, pie de rey o cualquier otro método de medición que permita medir el diámetro de la tubería y que posea su escala en centímetros. En la figura 32 se muestra un flexometro el cual se puede usar para medir el diámetro de la tubería.

Figura 32. Flexometro.



✓ **Manómetros**

Como caso especial se tiene que los manómetros que se mostrarán a continuación, hacen parte de la planta pero a su vez servirán como instrumentos de medición.

A continuación se muestra la tabla 9 que contiene las características más relevantes de cada manómetro.

Tabla 9. Características de los manómetros.

Manómetro	Marca	Rango nominal	Tamaño de la caratula
1	Wekslerglass	0 a 100psi	5pulg
2	Royal Gauge	0 a 15psi	2pulg
3	Wekslerinstruments	0 a 60psi	2.1/2pulg
4	Kent Clear way	0 a 2.5Bares 0 a 36.3psi	4pulg

En la figura 33 se muestra al manómetro 1 el cual recibe la presión de

entrada proveniente del compresor; en la figura 34 está el manómetro 2, el cual registra la presión enviada al actuador.

Figura 33. Manómetro 1.



Figura 34. Manómetro 2.



Los 2 manómetros restantes se muestran en la figura 35 y 36, donde se observan los manómetros 3 y 4 respectivamente, el primero mide la presión que va al convertidor I/P y el segundo registra la presión en el tanque.

Figura 35. Manómetro 3.



Figura 36. Manómetro 4.



3.2.2. Instrumentación de las plantas piloto

Cada planta piloto posee la instrumentación necesaria que le permite controlar un proceso y que brevemente se describirá a continuación, pero además de la plantas piloto se hará mención de la instrumentación del montaje que será utilizado para la implementación de las termocuplas y la RTD.

La instrumentación de los distintos procesos será mostrada en el siguiente orden:

- ❖ La instrumentación del montaje para las termocuplas y la RTD.
- ❖ La instrumentación de la planta piloto intercambiador de calor.
- ❖ La instrumentación de la planta piloto tanque en paralelo.
- ❖ La instrumentación de la planta piloto presión en tanques en serie.

3.2.2.1. La instrumentación del montaje para las termocuplas y la RTD

✓ Termocupla

Es un instrumento utilizado para el sensado de temperatura, existen de diferentes tipos y distintas formas para trabajar en distintas áreas de la industria. Es una de las instrumentaciones que va a ser parte de estudio en este documento, por lo que en la parte de fundamentos teóricos de la instrumentación, en el capítulo anterior se hizo una descripción mejor. Para observar la figura de una termocupla, observe la figura 2.

✓ RTD Pt 100

Al igual que las termocuplas, los dispositivos térmicos resistivos sirven para sensar temperatura, y es otro de los elementos que van a ser objetos de estudio, por lo que también se encuentra mejor explicado en el capítulo anterior. Diríjase a la figura 5 para ver una foto referente a una RTD.

✓ Variac

El variac es usado para suministrar un voltaje estable al montaje, el voltaje debe ser de 100Vac. La ventaja de usar este dispositivo, es que se puede establecer un voltaje conocido de trabajo. En la tabla 10 se muestran las características técnicas del variac usado.

Tabla 10. Características técnicas del variac

Input	Output	Potencia max.	Fusible
115Vac/50Hz/60Hz	0-250Vac 50Hz/60Hz	1000w	4A

En las figuras 37 y 38 se muestra a un variac desde 2 vistas diferentes, en la primera vista se observa todo el equipo, y en la segunda se muestra el panel frontal del equipo.

Figura 37. Variac Figura 38. Vista frontal variac



✓ **Cajas negras**

Son 3 distintas cajas de color negro, portadoras cada una de un par de focos y borneras de conexión de los mismos, además la primera caja posee instalada en su interior una termocupla tipo K, la segunda posee instalada en su interior una termocupla tipo J y la tercera contiene la RTD Pt 100.

Observe la caja portadoras de los instrumentos sensores de temperatura en la figura 39.

Figura 39. Caja portadora de termocuplas y RTD.



✓ **Focos**

Cada una de las cajas contiene un par de bombillos de 40w a 120v, conectados en paralelo, como se evidencia en la figura 40.

Figura 40. Focos dentro de la caja.



✓ **Fuente DC**

Una fuente de alimentación de voltaje o corriente DC, como la mostrada en la figura 41, permite ajustar valores de voltaje y corriente para ser entregados a un circuito, en el caso de la práctica se usará para proporcionar la corriente de excitación para la RTD Pt100.

La fuente puede ser utilizada en de distintas formas, es decir en serie, paralelo o la combinación de ellas. Los voltajes se pueden ajustar hasta 15v, y la corriente que puede suministrar es de máximo 5 A.

Las fuentes de alimentación que se pueden encontrar en el laboratorio son como las que se muestran en la figura 41.

Figura 41. Fuente de alimentación DC.



✓ **Resistencia o reóstato**

La resistencia usada para el circuito con el cual se debe calcular la corriente de excitación se muestra en la figura 42, puede proporcionar valores de resistencia desde 1 hasta 33ohm, pero debe tenerse en cuenta que la máxima corriente a la que deben ser sometidos los reóstatos es de 3.1A.

Se utiliza para bajar la corriente que retorna a la fuente DC cuando se está calculando la corriente de excitación de la RTD. Puede ser cualquier resistencia siempre y cuando tolere el voltaje y la corriente que van a pasar por ella, además debe disminuir la corriente de retorno a la fuente DC.

Se recomienda usar una resistencia cuyo valor sea de 30 ohm en adelante.

Figura 42. Reóstato.



3.2.2.2. La instrumentación de la planta piloto intercambiador de calor

✓ Transmisor de caudal 8035

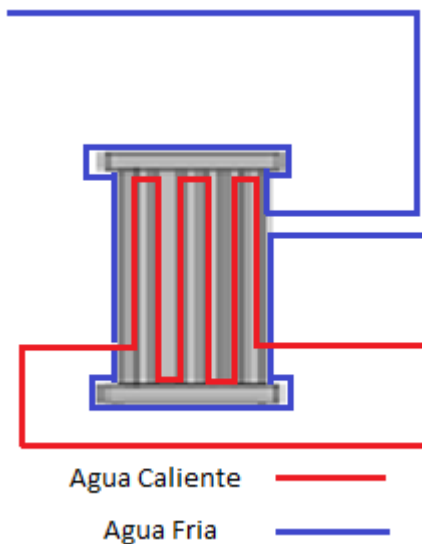
Este instrumento tiene como función principal sensar y transmitir la cantidad de flujo que pasa por la sección de tubería donde este se encuentra colocado.

Es la instrumentación principal de una de las prácticas, por lo que este instrumento se encuentra ampliamente explicado en el capítulo anterior. Para ver el transmisor de caudal, observe la figura 6.

✓ Intercambiador de calor

Es el instrumento que le entrega el nombre a la planta, existen de varias formas, este en particular es del tipo de tubos concéntricos. Se encuentra diseñado de tal manera que los dos fluidos de agua fría y agua caliente circularán en contracorriente para aumentar la transferencia de calor. El fluido de agua caliente circula por la tubería interna del intercambiador y el fluido de agua fría o agua al clima circula por la armadura del mismo, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 43. Intercambiador de calor



✓ **Bomba de agua fría**

Es la encargada de bombear el agua fría por el circuito de agua fría, se encuentra conectada al panel principal para su encendido y apagado, y está localizada en la parte inferior posterior de la planta como se puede observar en la figura 44.

Figura 44. Bomba de agua fría



✓ **Bomba de agua caliente**

Es la encargada de bombear el agua caliente por el circuito de agua caliente, se encuentra conectada al panel principal para su encendido y apagado se encuentra localizada en la parte media de la planta del lado derecho como se evidencia en la figura 45.

Figura 45. Bomba de agua caliente (parte superior)



✓ **Calentador**

El tanque calentador posee una capacidad de 15 galones, y la resistencia provee una potencia de 1800W hasta llegar a 80°C. Tiene una protección interna de alta eficiencia contra la corrosión por medio de un recubrimiento especial que evita el contacto del agua con el metal. El control de la temperatura del calentador se realiza por medio de un controlador ON –OFF el cual está ajustado para mantener una temperatura de 80°C. En la figura 46 se ve el tanque calentador.

Figura 46. Calentador de agua

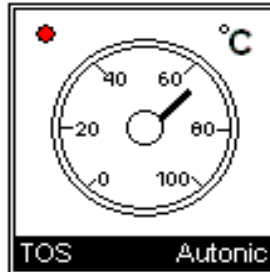


✓ **Controlador de temperatura**

El controlador de temperatura se usa para mantener la temperatura dentro del rango deseado, desconectando de ser necesario el calentador. El controlador de temperatura desconecta el calentador cuando el agua alcanza una temperatura de 75.5°C y lo conecta cuando la temperatura baja hasta 74.5°C. La marca del controlador es AUTONICS cuyo modelo TOSB4RJ2C, se alimenta con voltajes de 120 v y su rango de operación 0-200°C.

En la figura 47 se muestra un esquemático de la parte frontal del controlador de temperatura.

Figura 47. Controlador de Temperatura

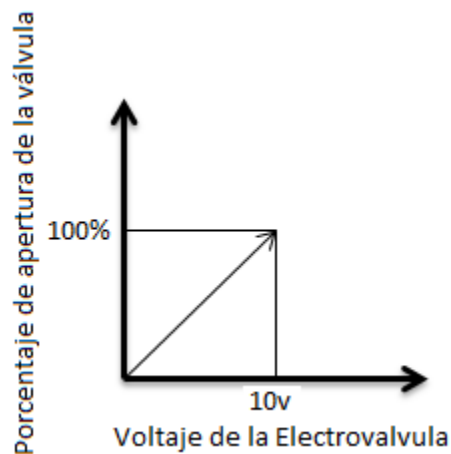


Nombre de la fuente: automatización planta piloto intercambiador de calor

✓ **Válvula proporcional o Servo válvula**

Una servo válvula o válvula proporcional es aquella que al aplicarle determinada corriente o voltaje realiza una apertura proporcional a dicha corriente. Se logra una apertura máxima al suministrar 10v y se cierra al aplicar 0v o desenergizar el proceso, su comportamiento es lineal como se muestra en la figura 48.

Figura 48. Característica de la válvula proporcional



Su funcionamiento es de la siguiente forma, al aumentar la corriente de la bobina a partir de cierto punto la fuerza de tracción de la bobina será mayor que la fuerza contraria del resorte de cierre. El inducido se eleva y abre el orificio piloto en el diafragma. Con la regulación

progresiva de la corriente de la bobina, el inducido puede ser colocado usualmente en cualquier posición dentro del tubo del inducido y la válvula puede ser fijada en cualquier posición que vaya de totalmente abierta a totalmente cerrada.

Las principales características de la válvula son que tiene como tensión de alimentación de 24VDC, la señal de control como se dijo anteriormente es de 0-10 VDC, el régimen de caudal para agua de 0.57 – 15.8 m³/h y soporta una temperatura ambiente de entre 25°C y 50°C.

La válvula que se encuentra en la planta piloto intercambiador de calor es la que se observa en la figura 49.

Figura 49. Válvula servo controlada.



✓ Termocuplas

La planta piloto utiliza tres termocuplas tipo J, para que puedan sentir las termocuplas sin dañarse se deben usar termopozos, son estructuras de aceros diseñadas para proteger a la termocupla sin afectar su medición. Se encuentran repartidas en la planta de la siguiente forma, la primera capta la temperatura a la salida del fluido frío del intercambiador y las otras dos sienten la temperatura del agua del calentador, una de las señales es visualizada para monitorear la temperatura y la otra es utilizada por el controlador de temperatura del mismo.

En la figura 50 se observan un grupo de termocuplas en la parte izquierda, acompañadas de varios termopozos que están del lado derecho.

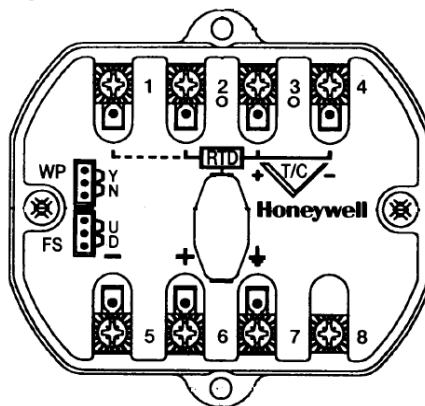
Figura 50. Termocupla Tipo J y Termopozo



✓ **Transmisor de temperatura**

Los transmisores utilizados para captar las señales de temperatura provenientes de las distintas termocuplas repartidas en el intercambiador de calor, son los transmisores inteligentes de temperatura marca Honeywell STT 3000 versión 350 como se muestra en la figura 51.

Figura 51. Esquema interno transmisor de temperatura.



Nombre de la fuente: Emerson Rosemount

Para este transmisor de temperatura se tienen las siguientes características, como temperatura límite se tiene que va de -10 a 85°C,

su alimentación eléctrica es de 11 – 42 VDC, las salidas al PLC son de 4-20 mA. Para esta planta se calibraron los transmisores de 0 a 100°C para las termocupla.

Observe la figura 52, ahí se muestran los 2 transmisores de temperatura que posee la planta, están localizados en la parte media de la planta, debajo del panel frontal

Figura 52. Transmisor de temperatura



✓ **Controlador lógico programable.**

Como instrumento fuera de la planta se tiene el PLC S7 200 de Siemens, con él se completa la interacción hombre máquina, el programa diseñado previamente se encuentra aquí; por medio de cables Centronics se comunican las entradas y salidas respectivas del PLC y la planta, la comunicación PLC y computador se lleva a través del cable con protocolo PPI tipo USB.

A continuación se presentan los datos técnicos más importantes del PLC con CPU 224, que es el usado del PLC, este posee 14 entradas y 10 salidas digitales, sumado a eso tiene 2 potenciómetros analógicos, un puerto de comunicación RS 485, además posee 256 relés internos, 256 relés de control secuencial y 256 Contadores/temporizadores y módulo de ampliación de Entradas/Salidas analógicas: 4E/1S.

En la figura 53 se muestra un controlador lógico programable, que será usado en las prácticas, la mayoría de los PLC que posee el laboratorio son de este tipo.

Figura 53. Banco del PLC S7-200 Siemens



3.2.2.3. La instrumentación de la planta piloto tanque en paralelo

✓ Transmisor de nivel por presión diferencial 1151

Como su nombre lo indica es un transmisor de nivel, que a medida que va cambiando la altura del líquido dentro del tanque, va aumentando o disminuyendo el voltaje entregado por el mismo.

El transmisor está diseñado para trabajar en tanques presurizados, al trabajar en esta situación es que adquieren el nombre de “presión diferencial”, sin embargo, estos equipos traen compensación para la presión atmosférica, que les permite trabajar para tanques abiertos; en otras palabras la presión ambiental simula la presión como si el tanque estuviera cerrado.

Este es uno de los instrumentos que será objeto de estudio en este documento, por lo que su funcionamiento esta más explicado en el capítulo de fundamentos teóricos de la instrumentación. Si desea observar imágenes del equipo vaya a las figuras 14 y 15.

✓ **Trasmisor de nivel por presión diferencial 3051**

Este trasmisor se encuentra instalado en el tanque número 2 de la planta piloto, su funcionamiento es muy similar al transmisor 1151, su mayor diferenciase encuentra en su estructura física, es decir, tiene menor tamaño, la ubicación y la forma de los botones de ajuste de Zero y Spam, entre otras diferencias menores.

La salida del transmisor es proporcional a la altura del nivel del líquido en los tanques, para esto se conecta el lado de baja presión de los transmisores a la presión atmosférica y el de alta se conecta a los tanques en el punto más bajo de los mismos. En la figura 54 se observa un transmisor de este tipo.

Figura 54. Transmisor de presión diferencial Rosemount 3051



✓ **Bombas sumergibles**

Como su nombre lo indica se encuentran sumergidas en el tanque de reserva donde envían el flujo del agua hasta que entren por la parte superior de los tanques. La planta posee 2 de este tipo; en la tabla 11 se muestra más características.

Tabla 11. Características de las bombas sumergibles

Referencia	Voltaje de trabajo	Corriente de trabajo	Capacidad de bombeo	Fusibles
RU27D	12Vdc	3.3A	1100gph	6 ^a

			4200L/h	
--	--	--	---------	--

El par de bombas sumergibles dentro del tanque de reserva tienen la misma forma de la mostrada en la figura 55.

Figura 55. Bomba sumergible.



3.2.2.4. La instrumentación de la planta piloto presión en tanques en serie

✓ Válvula proporcional neumática

Es una válvula de control, que se acciona por medio de aire presurizado, el cual vence la fuerza de un resorte permitiendo que el vástago se desplace junto con el obturador, dejando pasar el gas o el líquido al cual se le controla el paso.

Es uno de los instrumentos que van a ser objeto de análisis en este documento. Se encuentra mayormente explicado su funcionamiento en el fundamento teórico de la instrumentación. Sin embargo en la tabla 12 se pueden observar alguna de sus características.

Tabla 12. Características básicas válvula proporcional neumática.

Tamaño del cuerpo	Material	Aire para	Marca	Temperatura(°F)	Suministro de aire (psi)
3/4"	316ss	Abrir (open)	Foxboro	-20 a 406	20

Adicional a la figura 20, se tiene la figura 56 que se muestra a continuación, donde se logra observar los elementos que intervienen en ella, que son: en la parte superior se observa la tubería proveniente del convertidor pasa por el manómetro y llega al actuador. En la parte inferior derecha está la entrada de la materia prima en este caso aire presurizado, pasa por la válvula hacia los tanques.

Figura 56. Válvula proporcional neumática.



✓ **Tanque de reserva**

Tanque que contiene el aire enviado por el compresor, para luego llegar a los reguladores, también sirve como filtro inicial para contener la humedad proveniente del aire enviado por el compresor. En la figura 57 se observa dicho tanque.

Figura 57. Tanque de reserva.



✓ **Reguladores de presión**

La planta posee 2 reguladores de presión, el primero regula presión entre valores de 0 a 20psi, esto con el fin de enviar la presión necesaria con la cual trabaja el convertidor I/P en óptimas condiciones. El segundo regulador mantiene la presión entre 0 y 30 psi según el sistema requiera; la presión que él envía es la que se denomina presión de entrada a la válvula proporcional neumática. El demarca la presión máxima de trabajo de esta planta, la cual es de 30 psi. La tabla 13 muestra alguna de las características del equipo.

Tabla. 13. Características de los reguladores de presión.

Marca	Presión Max	Diámetro	Entrada
Fisher 67AF	250psi	1/4pulg	80psi

El regulador de la figura 58 fue ajustado para que regule la presión hasta máximo 20 psi, por otro lado el transmisor de la figura 59 permite alcanzar presiones cercanas a 30 psi.

Figura 58. Regulador 2 (aire a presión Figura 59. Regulador 1 (aire a presión para el convertidor I/P)para la válvula proporcional)



✓ **Filtro de aire**

A pesar de la forma en que está construida la planta, que dificulta el paso de la humedad y otras suciedades, se tiene un filtro de aire. Este filtro controla el paso de suciedades que puedan interferir en el proceso, provocando daños u obstrucciones.

En la tabla 14 se puede observar las características del filtro.

Tabla 14. Características técnicas del filtro de aire.

Marca	Presión Max	Diámetro de conexión
ARO 125221	100psi a 125°F	1/2pulg (12.7mm)

El filtro está localizado antes de la válvula proporcional, para que todo el flujo de aire pase por el primero, liberando de posibles impurezas el aire, evitando que entren partículas no deseadas dentro de la válvula. En la figura 60 se observa el filtro que tiene la planta.

Figura 60. Filtro de aire.



✓ **Convertidor I/P**

Hace las veces de posicionador, después de recibir una señal eléctrica envía la cantidad de aire requerida para que el actuador realice la función correspondiente, ya sea para abrir, cerrar o mantener la apertura de la válvula. La tabla 15 muestra los parámetros máximos que se pueden utilizar con el convertidor I/P que está instalado en la planta.

Tabla 15. Características del convertidor I/P.

Marca	R de Entrada	Salida	Entrada
-------	--------------	--------	---------

VDO type22/06-1S	200Ω, Corriente máxima: 60mA Corriente nominal: 4 a 20mA	3 a 15psi, calibrada: 3.5 a 15psi	20+/-1.5psi, acción directa
---------------------	---	---	--------------------------------

En la figura61 se observa una vista frontal del convertidor usado en la planta piloto, del lado izquierdo llega la presión regulada a 20 psi, y del lado izquierdo proporcional a la señal que reciba, envía un flujo hacia el actuador.

Figura 61. Convertidor I/P.



✓ **Controlador UDC Honeywell 3000**

Es instrumento de control, al cual se le puede introducir ciertos datos, dependiendo del tipo que sea (PI, PD, PID), y este realiza una regulación sobre el proceso, manteniéndolo dentro de los rangos establecidos. Alguna de las características del controlador son las mostradas en la tabla 16.

Tabla 16. Características del controlador UDC Honeywell 3000.

Alimentación	Entrada	Salidas	Tipo de control	Puerto de comunicación Serial
90 a 254 Vac, 50/60Hz, 18VA	analógicas y digitales	reconfigurables	ON /OFF, PID, PD	RS442

La figura 62 muestra una vista frontal del controlador que posee la planta piloto presión en tanques en serie, donde se pueden observar la pantalla y los botones para ajuste que este tiene.

Figura 62. Controlador UDC Honeywell 3000.



✓ **Transmisor de presión**

Es uno de los elementos principales de esta planta, trasmite la presión que llega al tanque 1 proveniente de la válvula de control y le trasmite al sistema si es necesario aumentar o disminuir el paso de aire dependiendo sea el caso. Sus características técnicas se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Características del transmisor de presión.

Alimentación	Señal de entrada	Señal de salida
24Vdc	0 a 100psi, calibrada: 0 a 30psi	4 a 20mA

La figura 63 muestra al transmisor de presión de la planta piloto, este se encuentra localizado detrás del panel principal. Las 2 roscas que posee a los lados se puede quitar para observar la parte interna de ese equipo.

Figura 63. Transmisor de presión.



✓ **Compresor de aire**

Es aquel que envía el aire presurizado al sistema para que este sea regulado y controlado. Las características técnicas principales son las mostradas en la tabla 18.

Tabla 18. Características del compresor de aire.

Motor	3/4Hp (559.3W), 110Vac, monofásico, Corriente máxima de arranque 12A, corriente nominal 8A
Presóstato	Calibrado entre 40psi y 80psi, Presión máxima 100psi
Compresor	Doble pistón, lubricación con aceite

	20-40
Válvula de seguridad	Calibrada a 100psi, Presión máxima 250psi
Manómetro	De 100psi, caratula 1.1/2pulg (38.1mm)
Tanque 1	Presión máxima 150psi
Tanque 2	Presión máxima 150psi

✓ **Tanque principal**

Recibe el aire proveniente de la válvula proporcional, el cual es sentido por el transmisor en la parte superior del tanque. Dependiendo si esta comunicado con el tanque secundario, deja pasar el aire hacia él, por donde sale el aireal medio. Sino esta comunicado con el tanque secundario se puede habilitar una válvula que tiene el tanque para que sirva como válvula de salida.

✓ **Tanque secundario**

Recibe el aire proveniente del tanque principal y a través de una válvula que se encuentra conectada a él permite el paso del aire al ambiente.

Como se puede observar en la figura 64, el tanque principal y el secundario están conectados en serie, solo separados por la llave de intercomunicación, como se explicará más adelante, en la práctica, el tanque 1 solo deja pasar aire hacia el tanque 2, donde el aire sale al ambiente.

Figura 64. Tanques en serie (tanque principal y secundario).



✓ **Controlador lógico programable**

Es semejante al descrito anteriormente; si desea obtener más información y ver la imagen remítase a la figura 53.

3.2.3. Proceso realizado por las plantas piloto

Con la idea de entender la escogencia de los instrumentos principales de cada práctica propuesta, se debe entender que proceso realiza cada planta, y analizar como interviene y qué importancia tiene la instrumentación principal en cada caso.

Los procesos serán mostrados en el siguiente orden:

- ❖ El proceso que se realiza en la planta piloto intercambiador de calor.
- ❖ El proceso que se realiza en la planta piloto tanque en paralelo.
- ❖ El proceso que se realiza en la planta piloto presión en tanques en serie.

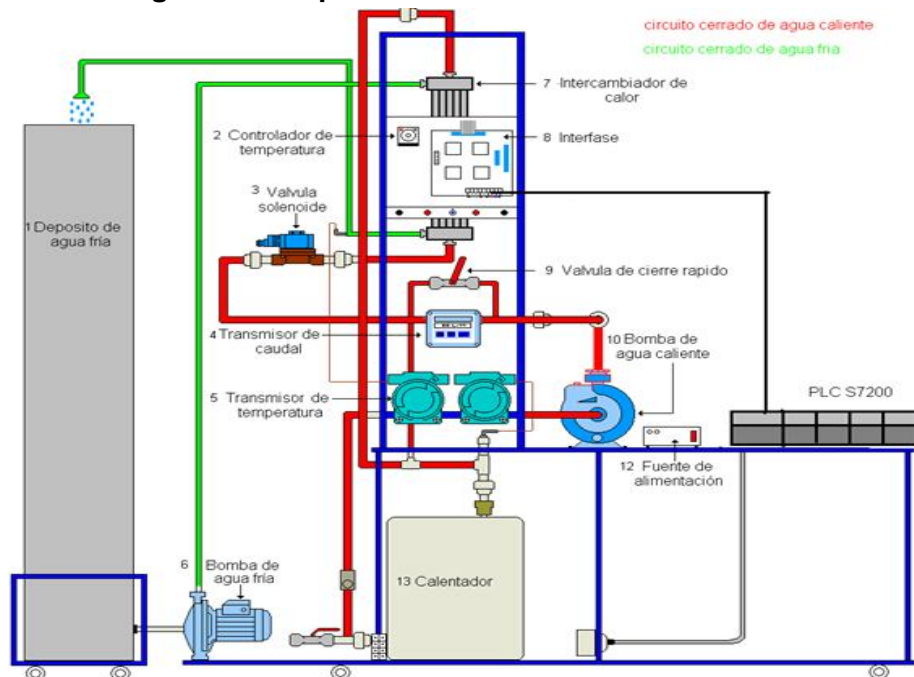
3.2.3.1. El proceso que se realiza en la planta piloto intercambiador de calor

El proceso que lleva a cabo la planta piloto intercambiador de calor es la trasmisión de temperatura de un líquido caliente a uno a temperatura ambiente, para esto se vale de un intercambiador de calor.

El líquido, que seguramente será agua, por el diseño de la planta va circular en contracorriente a través del intercambiador, esto se hace con el fin de que la transferencia de calor se realice de manera rápida. El agua caliente circulará por la parte interna del intercambiador y el agua fría lo hará por la armadura del mismo.

Para la explicación que se realizará a continuación sería conveniente observar la fotografía en la parte inferior, donde se muestra un esquemático de la planta donde será más fácil identificar lo que se está diciendo.

Figura 65. Esquema del Intercambiador de calor.



Nombre de la fuente: automatización planta piloto intercambiador de calor

La planta piloto está formada por un circuito de agua caliente y otro de agua fría o al clima. A través de una bomba que se denominará “bomba de agua caliente” se hace circular por el circuito de agua caliente, el líquido.

De la bomba el líquido pasa por el transmisor de flujo para poder controlar el caudal que está circulando por la tubería, luego el agua sigue a una electroválvula que permitirá y limitará el flujo de agua caliente a través de la tubería interna de intercambiador, por último el agua regresa al calentador.

Además, consta de una válvula de cierre rápido que se denominará como válvula de perturbación, la cual se encuentra conectada en una tubería en paralelo con el sistema antes descrito; cuya finalidad es simular una perturbación en el caudal.

El circuito por donde pasa el agua a temperatura ambiente, toma el agua del tanque descubierto al lado de la planta por medio de una bomba, haciéndola circular a través de la armadura del intercambiador de calor. El flujo de agua de salida del intercambiador pasa a través de la termocupla la cual se encuentra conectada con el transmisor de temperatura 1 con el fin de poder ser controlada y supervisada esta variable.

Finalmente, pasa a través del radiador el cual disminuye la temperatura de salida para ser enviada nuevamente al depósito de agua.

3.2.3.2. El proceso que se realiza en la planta piloto tanque en paralelo.

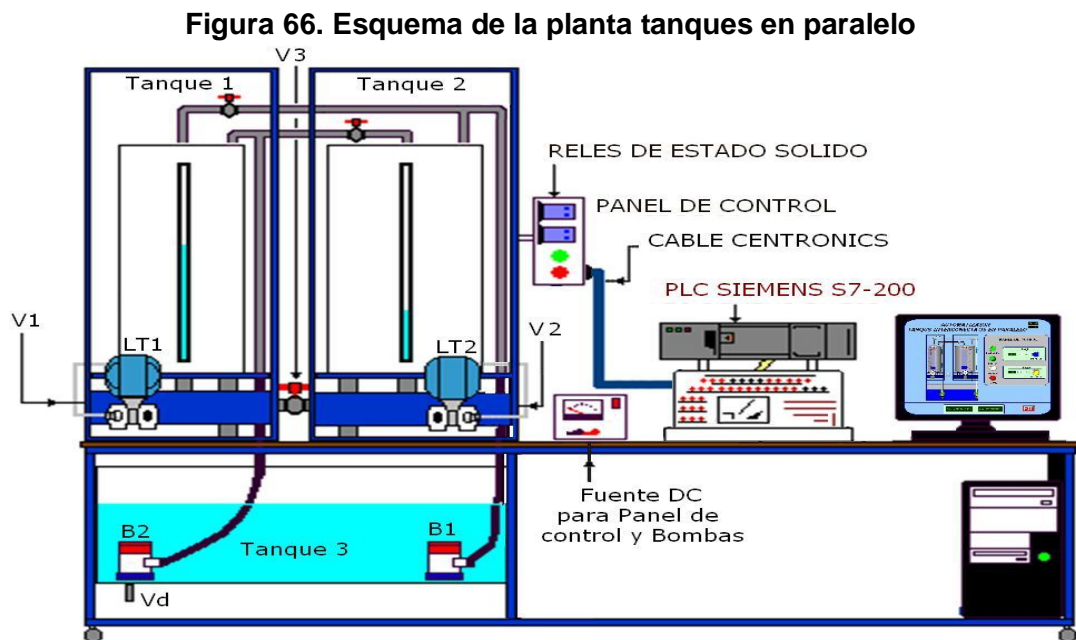
La planta está conformada por 3 tanques, dos de ellos tienen conectados unos transmisores de nivel, para su control; el tercero funciona como tanque para el depósito del agua, ahí, en el fondo del tanque también se encuentran las bombas sumergibles, que empujan el agua por las tuberías hasta la parte superior de los tanques donde se realiza su vertido en los tanques. Los tanques 1 y 2 poseen diferente diámetro, lo que variará su llenado.

Los tanques 1 y 2 se pueden intercomunicar o se pueden trabajar por separado, todo esto viene dado por la válvula 3, que es la encargada de regular el paso del uno al otro.

Dependiendo de las necesidades se puede ajustar un llenado rápido o uno lento, esto se puede dar a partir del ajuste de las válvulas 4 y 5. Para vaciar los tanques se abren las válvulas v1 y v2 respectivamente.

Posee conexiones centronics hacia un PLC, para realizar la comunicación entre ambos, así como un cable tipo USB con protocolo PPI para su control automático, a través de una CPU; para el desarrollo de la práctica no se necesitará ni el PLC, ni el control a través del supervisorio, la instrumentación a usar se definirá en características de los instrumentos.

En la figura 66 se puede evidenciar la ubicación de los instrumentos en la planta piloto, así como la explicación del funcionamiento que se ha venido mencionando.



Nombre de la fuente: automatización de una planta piloto de nivel de dos tanques en paralelo.

3.2.3.3. El proceso que se realiza en la planta piloto presión en tanques en serie

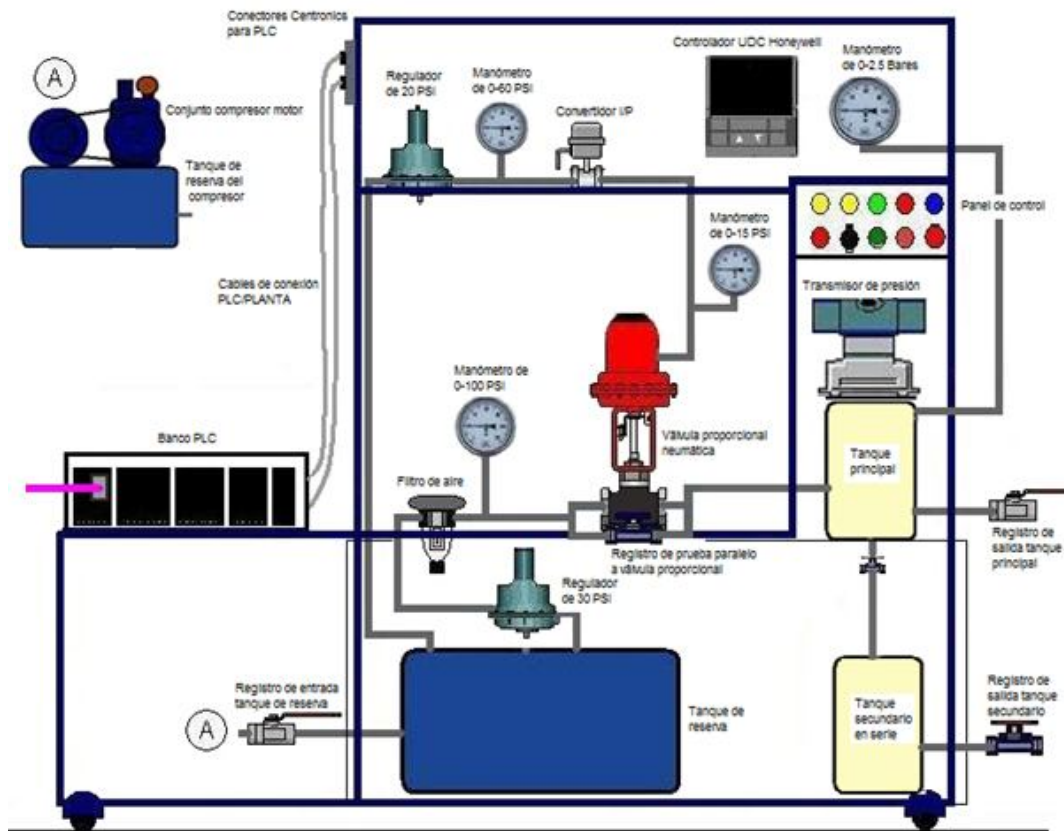
La planta piloto presión en tanques en serie es una planta encargada de mostrar el control en un proceso que implica la variable presión. El funcionamiento de la planta es el siguiente, se tiene un conjunto compresor motor el cual genera una presión de aire inicial, que pasa a un tanque de reserva, dicha presión llega a un regulador que la mantiene entre un rango máximo de 30 psi, de ahí pasa a un filtro de aire y llega a un manómetro para mantener una lectura de esa presión. Esta presión llega a la entrada de la válvula proporcional neumática y al bypass, por lo anterior se denominará a esa presión como presión de entrada.

Del tanque de reserva también hay una salida que dirige la presión hacia un regulador que la mantiene entre un rango de máximo 20 psi, a la salida del regulador se tiene un manómetro para leer la presión que va ser enviada al convertidor I/P. El convertidor I/P envía una presión a la válvula neumática proporcional para que esta se abra o se cierre o se mantenga como está, esta presión de control la podrá ver a través del manómetro que está entre los dos instrumentos.

Dependiendo del comportamiento de la válvula proporcional, pasará una presión al tanque principal, esa presión la podrá ver de 2 maneras, la primera es a través del manómetro y la segunda es en el supervisorio, gracias a que el transmisor de presión envía la señal censada para su control. Del tanque principal la presión pasa al tanque secundario si la válvula en serie está abierta, o sale al medio por la válvula a su costado, si pasa al tanque secundario puede salir por la válvula de salida del mismo.

En la figura 67 se puede seguir el funcionamiento de la planta, además de identificar la distinta instrumentación que interviene en el proceso.

Figura 67. Esquema de la planta presión en tanques en serie.



Nombre de la fuente: Automatización de una planta piloto de presión de tanques en serie.

El control de este proceso se realiza de dos formas, la primera forma la lleva acabo el controlador UDC Honeywell dependiendo de los parámetros PID, entre otros que se le hayan programado. La segunda forma de control se puede realizar a través de un controlador lógico programable, una computadora y el correspondiente software de control y supervisión.

3.2.4. Puesta en marcha de las plantas piloto

Existen ciertas cosas que se deben tener en cuenta antes de querer usar las plantas pilotos, la más importante es saber cómo ponerla a funcionar, por lo que se realizará una breve explicación de cómo se deben poner a funcionar.

Las plantas que requieren ser puestas en marcha serán mostradas en el siguiente orden:

- ❖ Puesta en marcha de la planta piloto intercambiador de calor.
- ❖ Puesta en marcha de la planta piloto tanque en paralelo.

- ❖ Puesta en marcha de la planta piloto presión en tanques en serie.

3.2.4.1. Puesta en marcha de la planta piloto intercambiador de calor

Para poner en funcionamiento la planta primero se debe realizar la conexión de la misma a un toma corriente 120Vac, luego oprimir el interruptor de encendido (parte superior derecha). Para conectar la planta al PLC, se deben conectar un par de cables centronics, con sus respectivos conectores centronics, el PLC también se debe energizar en un tomacorriente de 120Vac.

Por último se realiza la conexión con un computador que tenga instalados los programas Microwin, OPC y Wincc, la conexión se da por medio de un cable USB con protocolo PPI.

Después haber realizado lo anterior, se procede a abrir el programa en Microwin del intercambiador de calor, lo carga al PLC, luego abre el OPC link y pone a correr el OPC, debe mostrar un letrero que diga “estado: ON” y todas las variables debe tener el letrero de “good”, ahora se abre el programa de wincc del intercambiador y así se obtiene la comunicación entre la planta y el supervisorio.

En la figura 68 se tienen los instrumentos que intervendrán en la práctica que se realizará más adelante, ellos son: la planta, el plc, los multímetros y el computador con los programas necesarios.

Figura 68. Vista preliminar de la planta.



3.2.4.2. Puesta en marcha de la planta piloto tanque en paralelo

Para poner en funcionamiento la planta primero se debe realizar la conexión de la misma a un toma corriente 120Vac, luego oprimir el interruptor de encendido, que está en la caja negra a un lado de la planta (parte inferior lateral derecha).

Para arrancar la planta se debe ir al panel de control (superior lateral derecho), seleccionar el modo manual y oprimir el botón de arranque de la planta. Es importante verificar que la planta tenga suficiente agua antes de iniciar la prueba.

En la figura 69 se puede observar la planta piloto tanques en paralelo con la que se va a trabajar y los elementos que la componen, que son: los tanques, los transmisores, el panel principal y dentro del tanque de reserva están las bombas. Para las prácticas que se propondrán con esta planta no se usa la conexión con el PLC y el supervisor, así que se puede tener conectado o no los cables centronics;

Figura 69. Planta tanques en paralelo



3.2.4.3. Puesta en marcha de la planta piloto presión en tanques en serie

Como primer paso para poner a funcionar la planta hay que energizarla, de igual manera al PLC, el paso subsiguiente es poner el interruptor del breaker en "ON", este se encuentra localizado en la mesa en la parte posterior izquierda; el PLC debe estar comunicado con la planta a través de los cables Centronics, la conexión se encuentra en la parte superior izquierda de la planta y en la posterior del PLC.

Para seguir con la conexión se necesitará un computador que contenga instalados los programas que se usarán para controlar y supervisar la planta; en el caso de esta planta piloto esos programas serán Microwin 4.7, OPC y Wincc, cada uno de estos programas realiza un papel fundamental en la comunicación planta-sistema-hombre.

El software microwin permitirá elaborar el control y/o supervisión de la planta, en este caso será un programa con contactos, temporizadores, entre otros instrumentos; esto debido a que la programación usada por el PLC será la tipo ladder.

El programa ya elaborado será cargado en el PLC y se pondrá en modo "RUN". El software OPC link realiza la interacción entre el programa que

representa la planta a supervisar y el supervisorio que monitorizará lo que sucede en la planta.

Por ultimo en el software Wincc se tendrá un esquema de la planta, que parecerá la réplica computarizada de la planta, que se tendrá en el computador donde se observará el comportamiento de la planta. La representación en el computador no se podrá visualizar todos los instrumentos que se pueden observar en la figura 70, debido a varios factores, como por ejemplo que no tienen comunicación con la planta o simplemente se obviaron cuando la persona que diseño la automatización de la planta realizo el esquemático.

Entonces se realiza la conexión con un computador que tenga instalados los programas Microwin, OPC y Wincc, la conexión se da por medio de un cable USB con protocolo PPI.

Después de haber realizado lo anterior, se procede abrir el programa en Microwin de la planta presión de tanques en serie, donde se cargará al PLC, luego se abre el OPC link y se pone a correr el OPC, deberá mostrar un letrero que diga “estado: ON” y todas las variables debe tener el letrero de “good”, ahora se abre el programa de wincc del intercambiador y así obtendrá la comunicación entre la planta y el supervisorio.

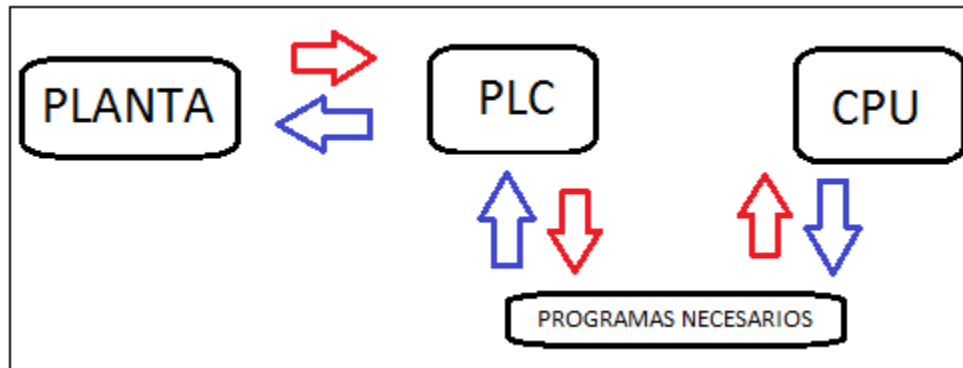
En la figura 70 se observa la planta piloto presión en tanques en serie, que le permitirá familiarizarse con la ubicación de los instrumentos que componen la planta.

Figura 70. Vista superior de la planta.



En general las plantas se comunican con el supervisorio como se muestra en la figura 71, sin embargo para algunas prácticas no será necesaria la comunicación con un PLC o con computador, ya que los datos se recolectarán de la propia planta piloto con la que se esté trabajando.

Figura 71. Comunicación planta-PLC-CPU



4. **Caracterización de una termocupla tipo K, una tipo J y una RTD pt 100 para una escala de temperatura de 0°C a 60°C**

4.1. Introducción

Con este capítulo se inician las prácticas que posee este documento; como el título indica, en este capítulo se va a llevar a cabo la caracterización de una termocupla tipo K, una tipo J y una RTD pt 100 para una escala de temperatura de 0°C a 60°C.

Por lo que se entiende que la variable a manejar en esta primera práctica es la de temperatura. Más específicamente la relación existente entre la temperatura medida por un termopar de referencia y los voltajes entregados por la termocupla tipo K, una termocupla tipo J y una RTD, todo esto aplicado a temperaturas no mayores de 60°C.

La práctica se realizará en laboratorio de control, con el montaje que se mostrará en el procedimiento de esta práctica.

4.2. Objetivos

Entender el funcionamiento e implementación de instrumentos sensores de temperatura, tales como las termocuplas y los dispositivos térmicos resistivos, a través del análisis y caracterización de estos equipos.

4.3. Instrumentación

La instrumentación de medición y montaje necesarios para llevar a cabo esta práctica son los siguientes:

4.3.1. Instrumentación de medición

- ✓ 1 multímetro con su termopar de sensado de temperatura.
- ✓ 1 multímetro con sus puntas de medición.

4.3.2. Instrumentación de montaje

- ✓ 1 variac.
- ✓ 1 caja contenedora de la termocupla tipo K y los bombillos.
- ✓ 1 caja contenedora de la termocupla tipo J y los bombillos.
- ✓ 1 caja contenedora de la RTD Pt 100 y los bombillos.
- ✓ 1 fuente de alimentación DC.
- ✓ 1 resistencia de graduable.

4.3.3. Otros

- ✓ 3 cables caimán-caimán.
- ✓ 3 cables caimán banana.
- ✓ 1 cable de corriente adaptado con 2 cables caimán banana en los extremos.

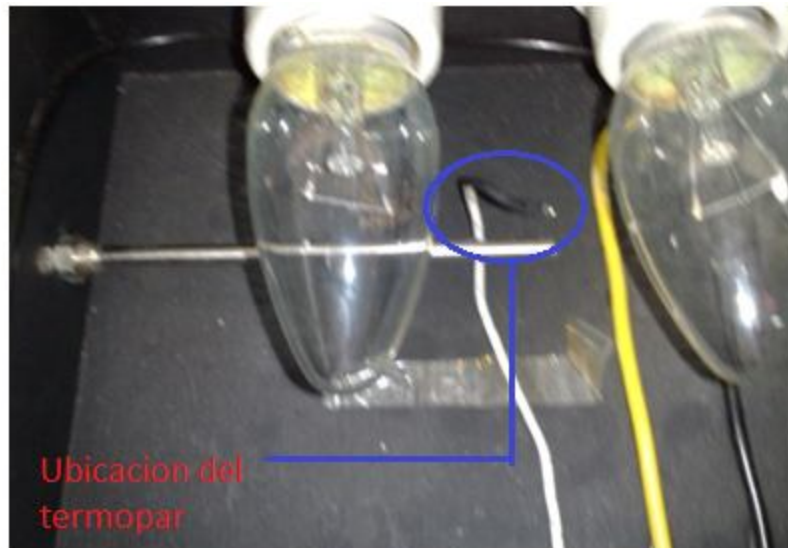
4.4. Procedimiento

Para la caracterización de los instrumentos correspondientes a esta práctica se diseñó un montaje, que permite su fácil manejo y la obtención de los

datos. Los pasos para ensamblar los montajes de esta práctica son los siguientes:

1. Conecte el variac a un tomacorriente del laboratorio y enciéndalo; luego gire la perilla en la parte superior del equipo hasta llegar a la opción 100 Voltios. Proceda a medir el voltaje entregado por el equipo con un multímetro ajustado para medir voltaje en corriente alterna. Ajuste el voltaje con la perilla hasta alcanzar un valor muy cercano al requerido.
2. Posicione el termopar de referencia entre los 2 bombillos como se muestra en la figura 72, ajústelo con cinta adhesiva para evitar su movimiento y ubique el multímetro del termopar de referencia en una posición cómoda para recolectar los datos.

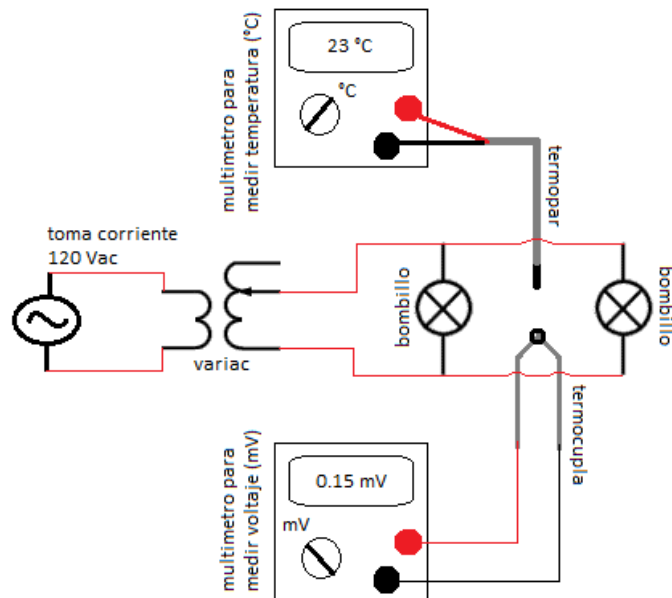
Figura 72. Posición en la que debe ir el termopar de referencia.



3. Conecte los cables que salen de la termocupla tipo K o J, a un multímetro ajustado para la medición de voltaje en corriente continua en milivoltios. Debe tener en cuenta la polaridad de los cables cuando vaya a realizar la conexión.
4. Con el variac apagado, conecte un cable de corriente adaptado con cables caimán banana, para que en un extremo entre al variac y en el otro lado entre en los terminales externos de las cajas contenedoras.

A continuación en la figura 73 se muestra un diagrama de bloques de cómo debe quedar el montaje.

Figura 73. Diagrama del montaje para el uso de las termocuplas



Visto de manera física el montaje debe quedar como se muestra en la figura 73: multímetros, variac y caja portadora.

Figura 74. Visualización física del montaje de las termocuplas.



5. Se recomienda colocar los 2 multímetros lo bastante cerca para que la recolección de datos sea más sencilla.
6. La recolección de datos para las termocuplas se llevará a cabo de la siguiente manera, con un voltaje establecido en el variac de 100Vac que es enviado a los bombillos, se analizará la relación existente entre el

voltaje de la termocupla y la temperatura de referencia entregada por el multímetro.

7. Realice 3 recolecciones de datos
 - a. En la primera recolección de datos, el estudiante decide que escala seguir, ya que se toman datos de prueba. Se recomienda que sea de pocos datos. Quizás los datos obtenidos en esta prueba disten de los obtenidos en las pruebas que viene después, esto debido a que las termocuplas están a la temperatura inicial del laboratorio y pueden presentar un comportamiento distinto al esperado.
 - b. La segunda se hará de 5°C en 5°C hasta llegar a 55°C.
 - c. La tercera recolección se hará de 3°C en 3°C hasta llegar a 55°C.
8. Valores a tomar:
 - a. Temperatura inicial del medio (la primera temperatura entregada por el multímetro de referencia).
 - b. Voltaje inicial en la termocupla tipo K (el voltaje entregado sin haber encendido el montaje).
 - c. Voltaje de la termocupla tipo K a las diferentes temperaturas establecidas.
 - d. Temperaturas de referencia establecidas previamente.
 - e. Incluir cualquier valor que considere relevante de temperatura o voltaje
9. Todas las recolecciones deben comenzar entre los 23 a 25°C (la temperatura general del laboratorio) y termina en 55°C, con una tolerancia de +/- 3°C.

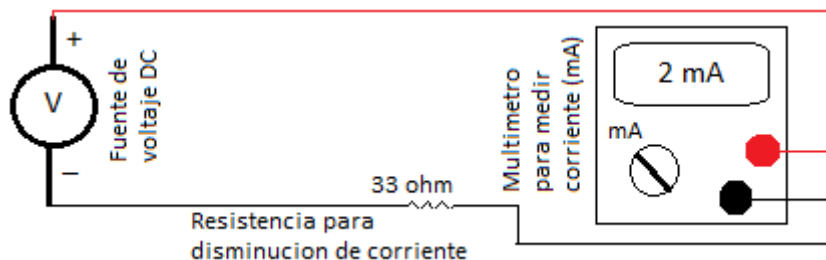
Para el ensamblaje del montaje del dispositivo térmico resistivo se siguen los pasos descritos anteriormente en el caso de las termocuplas, pero adicionalmente se deben realizar estos pasos previos, que son necesarios aplicar para esta práctica.

➤ Ajuste de la corriente de excitación

1. Conecte una fuente de alimentación DC a una toma corriente; en lado de los bornes del maestro, conecte un cable caimán-caimán en el borne positivo, el otro extremo del cable conéctelo a la punta positiva de un multímetro.
2. El multímetro mencionado en el punto anterior debe tener ajustada las puntas para medir corriente en miliamperios; la punta negativa del multímetro tiene que estar conectada a una resistencia de 33ohm por medio de un cable caimán banana.
3. Conecte el otro extremo de la resistencia al borne negativo de la fuente DC, utilizando un cable caimán banana
4. Ajuste el voltaje y la corriente de la fuente hasta conseguir un valor de 2mA en el multímetro.
5. Recolecte los siguientes valores:
 - a. Corriente mostrada en el multímetro.
 - b. Voltaje medido en la fuente luego de haber conseguido la corriente requerida.
 - c. Voltaje en el display de la fuente de alimentación.
 - d. Valor de la resistencia.

En la figura 75 se muestra un esquema eléctrico para el montaje usado en el cálculo de la corriente de excitación para la RTD Pt 100.

Figura 75. Diagrama para el montaje del cálculo de la corriente de excitación.

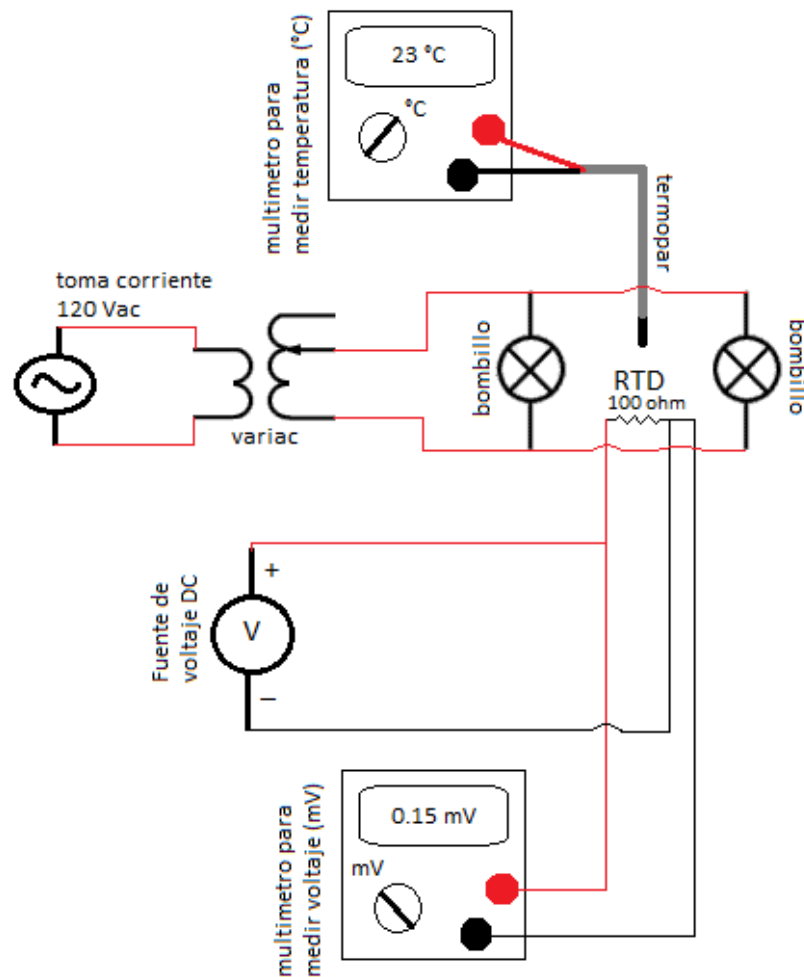


➤ Conexión de la fuente y el multímetro a la RTD

6. Desconecte la fuente de alimentación DC del circuito anterior. Conecte el borne negativo de la fuente a uno de los bornes negativos de la RTD usando un cable caimán-caimán.
7. El otro borne negativo de la RTD conéctelo a la punta negativa del multímetro, el cual debe está ajustado para medir voltaje en modo DC en milivoltios.
8. La punta positiva del multímetro, junto con un cable caimán-caimán proveniente del borne positivo de la fuente DC, debe ir conectados al terminal positivo de la RTD.

En la figura 76 se muestra un esquema eléctrico para el montaje de la RTD

Figura 76. Diagrama para el montaje de la RTD



4.5. Actividades propuestas

- ✓ Con los datos obtenidos, realice las siguientes curvas:
 - a. Para cada una de las 3 toma de datos para el montaje de la termocupla tipo K, realice sus curvas: voltaje de termocupla vs escala de temperatura de referencia.
 - b. Para cada una de las 3 toma de datos para el montaje de la termocupla tipo J, realice sus curvas: voltaje de termocupla vs escala de temperatura de referencia.
 - c. Para cada una de las 3 toma de datos para el montaje del dispositivo térmico resistivo, realice sus curvas: voltaje de RTD Pt 100 vs escala de temperatura de referencia.

Realice el análisis de las curvas para los puntos anteriores (a, b, c).

- ✓ ¿Por qué la corriente de excitación para las RTD de 3 hilos debe ser pequeña?

- ✓ Elabore una lista de ventajas y desventajas de las termocuplas K, J y la RTD Pt100

- ✓ Describa los principios básicos de operación de una termocupla.

- ✓ Enuncie las características más importantes de las termocuplas.

5. Caracterización de una electroválvula y un transmisor de caudal dentro de la planta piloto intercambiador de calor

5.1. Introducción

La variable a manejar en esta segunda práctica va ser el flujo; para ello se utilizará la planta denominada intercambiador de calor, se usará esta planta piloto ya que posee un transmisor de flujo que será ideal para la práctica propuesta.

La práctica consistirá en ajustar un valor conocido de voltaje de electroválvula, y verificar los valores de flujo entregados por el transmisor, los voltajes que posee el transmisor en esos valores de flujo y el voltaje real de la electroválvula entregados por la planta, esto se hará teniendo en cuenta que se trabajará con una válvula que permite trabajar sin perturbación y con perturbación.

5.2. Objetivos

Establecer una práctica que desarrolle competencias que permitan comprender el funcionamiento de una electroválvula y un transmisor de caudal dentro de un proceso, a través de la caracterización de los mismos.

5.3. Instrumentación

La instrumentación de medición que será agregada a la planta piloto para realizar esta práctica es la siguiente:

5.3.1. Instrumentación de medición

- ✓ 2 multímetro con sus respectivas puntas de medición.

5.3.2. Instrumentación de la planta piloto

- ✓ 1 bomba de agua caliente.
- ✓ 1 bomba de agua al clima.
- ✓ 1 calentador controlador de temperatura.
- ✓ 1 controlador lógico programable.
- ✓ 1 intercambiador de calor.
- ✓ 2 termocuplas.
- ✓ 2 transmisores de temperatura.
- ✓ 1 transmisor de caudal.
- ✓ 1 válvula proporcional o servo válvula.

5.4. Procedimiento

Para realizar la práctica se necesitará poner en marcha la planta como se explicó en el capítulo 2, pero antes de eso, será imprescindible conectar los instrumentos de medición que en este caso son un par de multímetros.

1. Los bornes para medir el voltaje de la electroválvula se encuentran situados en el panel lateral derecho de la planta, siguiendo las normativas internacionales, se conectará un multímetro ajustado para la medición de voltajes continuos en los terminales. La punta roja del multímetro en el borne rojo, punta negra en el borne negro.
2. En ese mismo panel lateral se encuentran los bornes del transmisor de flujo, son aquellos que están al lado de la palabra "FIT", se realiza la conexión de la siguiente forma, la punta positiva del multímetro en el borne rojo y la punta negativa en el borne negro.

En la figura 77 se puede identificar los bornes de conexión en el panel lateral derecho.

Figura 77. Panel lateral derecho.

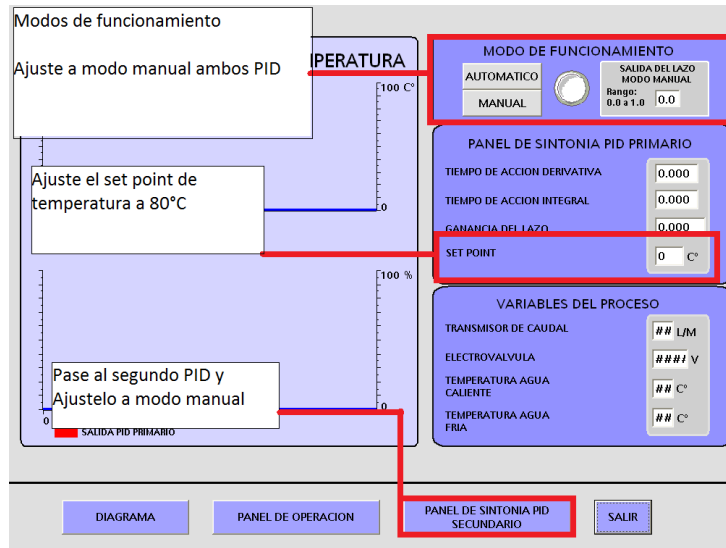


Después de haber conectado los multímetros, energizado la planta y realizado la conexión con el supervisorio, se procederá a:

3. En el supervisorio del intercambiador en wincc, se colocan los PID de temperatura y flujo en modo manual y se ajusta el set point del PID de temperatura en 80°C, para evitar cualquier posible interferencia.
4. Se recomienda colocar los 2 multímetros lo bastante cerca para que la recolección de datos sea más sencilla.

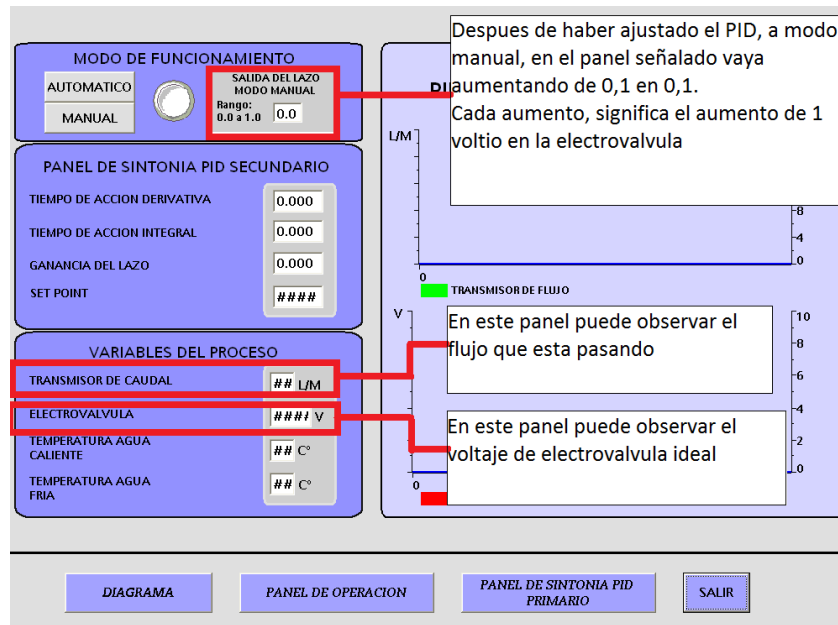
La figura 78 muestra donde se deben realizar los ajustes en el supervisorio para el primer PID.

Figura 78. Ajustes en el primer PID.



Alguno de los datos a recolectar se podrán observar en la pantalla del segundo PID, a continuación en la figura 79 se muestra dicha pantalla y se explican algunos ajustes a realizar.

Figura 79. Ajustes para el segundo PID.



5. Para recolectar los datos, la idea es tomar un valor de flujo, de voltaje de electroválvula real y de voltaje del trasmisor de flujo, utilizando

como referencia valores de voltaje de la electroválvula ajustados en el supervisorio. Teniendo en cuenta que la válvula de perturbación se encuentre cerrada.

Observe la figura 80 donde se muestra la posición de la válvula de perturbación cerrada, según la tubería donde se encuentra montada.

Figura 80. Válvula de perturbación cerrada.



6. Antes de comenzar la circulación del agua, prenda el calentador y espere que alcance una temperatura aproximada de 80°C en el controlador de temperatura. (opcional, para hacer 8a y 8f).
7. La recolección de datos será de la siguiente forma,
 - a. Se irá aumentando el valor de voltaje de la electroválvula en el supervisorio (segundo PID) de 1v en 1v, partiendo de 0v hasta llegar al valor máximo que son 10 voltios.
 - b. Luego de seleccionar el voltaje a trabajar, vaya tomando los valores de flujo para cada valor seleccionado de voltaje durante los próximos 30 a 60 segundos, esto se debe hacer para cada nivel de voltaje de electroválvula.
 - c. Recolecte todos los valores de flujo observados para cada apertura de electroválvula. Preste suma atención a los valores más constantes.

8. Valores a tomar:

- a. Valores de flujo en litros por min, que se divisan en el display del transmisor de caudal o en el supervisorio.
 - b. Voltaje real entregado por la electroválvula.
 - c. Voltaje promedio del transmisor de flujo.
 - d. Incluir cualquier valor que considere relevante de flujo o voltaje.
 - e. Temperatura en el circuito de agua fría y en el circuito en el agua caliente antes de iniciar la recolección de datos. (opcional, si se hizo 6).
 - f. Temperatura en el circuito de agua fría y en el circuito en el agua caliente al finalizar la recolección de datos. (opcional, si se hizo 6).
9. Se debe realizar una confirmación de los datos obtenidos por lo que se repite todo desde el paso número 5.
 10. La segunda parte de la práctica se realiza siguiendo los numerales 5 a 9, teniendo en cuenta que la válvula de perturbación se encuentre abierta.

Observe la figura 81 donde se muestra la posición de la válvula de perturbación, según la tubería donde se encuentra montada.

Figura 81. Válvula de perturbación abierta



5.5. Actividades propuestas

- ✓ Con los datos obtenidos realice las siguientes curvas:
 - a. Para cada una de las 2 toma de datos del montaje sin perturbación, realice sus curvas: flujo vs voltaje ideal de electroválvula, flujo vs voltaje real de electroválvula y la curva flujo vs voltaje del transmisor de flujo.
 - b. Para cada una de las 2 toma de datos del montaje con perturbación, realice sus curvas: flujo vs voltaje ideal de electroválvula, flujo vs voltaje real de electroválvula y la curva flujo vs voltaje del transmisor de flujo.

Realice el análisis de las curvas para los puntos anteriores (a, b).

- ✓ Observa algún cambio en las curvas característica flujo vs voltaje del transmisor de flujo al aumentar o disminuir (con la perturbación) el flujo que pasa por el transmisor. Explique.

6. Caracterización del transmisor de nivel por presión diferencial

6.1. Introducción

Para el desarrollo de esta práctica se utilizará la planta llamada “tanques en paralelo”, esta planta posee un par de transmisores de nivel, que servirán debido a que la variable que se manejará será el nivel.

Se realizará una caracterización del transmisor conectado al tanque número 1, aclarando que los dos tanques no tendrán conexión entre sí. Para la caracterización se recolectaran los valores requeridos teniendo en cuenta a lo que se ha llamado llenado rápido y llenado lento;

El llenado lento consiste en dejar que el tanque se llene solo con el agua proveniente de la bomba número 1, para que esto se dé, deberá cerrar la válvula 5, así el agua proveniente de la bomba número 2 no ingresará al tanque número 1.

En el llenado rápido se permitirá el paso del agua proveniente de la bomba número 2, para ello pasará el agua por la válvula número 5.

Por lo anterior se debe considerar la toma de valores para ambos casos (llenado lento y rápido), los valores que se deben registrar serán, para un nivel determinado se tomará voltaje y tiempo de llenado, pero esto se explicará más ampliamente en el procedimiento.

6.2. Objetivo

Elaborar una práctica donde se muestre el comportamiento que puede tener el transmisor de nivel por presión diferencial, para llenado normal y llenado rápido, y el tiempo de llenado en ambos casos.

6.3. Instrumentación

La instrumentación de medición que será agregada a la planta piloto para realizar esta práctica es la siguiente:

6.3.1. Instrumentación de medición

- ✓ 1 multímetro con sus respectivas puntas de medición.
- ✓ 1 cronometro.

6.3.2. Instrumentación de la planta piloto

- ✓ 2 Bombas sumergibles.
- ✓ 1 Transmisor de nivel por presión diferencial 1151.
- ✓ 1 Transmisor de nivel por presión diferencial 3051.

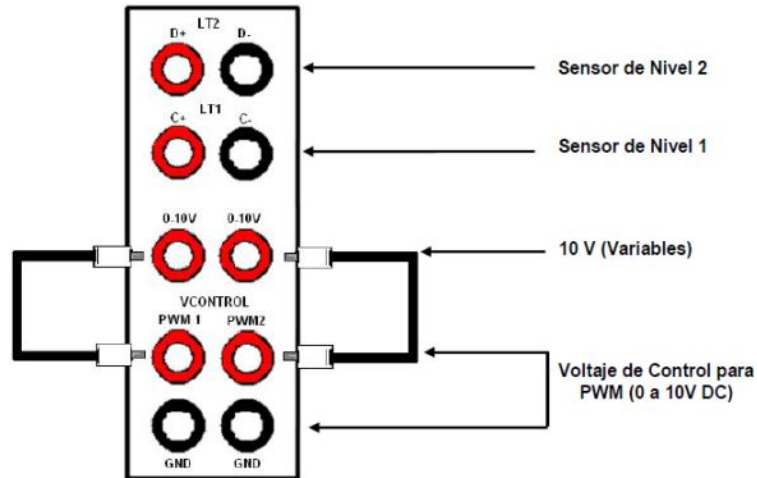
6.4. Procedimiento

Además de la planta piloto “tanques en paralelo”, para desarrollar esta práctica se adicionará un multímetro y un cronometro. Recordando lo explicado en el capítulo 3 se pondrá en marcha la planta, pero primero se debe llevar a cabo:

1. La conexión del multímetro se debe realizar en los bornes C+ y C-, que se encuentran en el panel lateral de la planta, se debe tener en cuenta la polaridad, es decir la punta roja en el borne + y la punta negra en el borne -.

En la figura 82 se ejemplifica el panel lateral de la planta piloto tanques en paralelo, en dicha figura se muestran los bornes de los transmisores de nivel.

Figura 82. Panel lateral para la conexión de equipos.



Nombre de la fuente: automatización de la planta piloto tanques en paralelo.

- Se emplea un cronometro para tomar el tiempo de llenado para cada nivel, pero al tomar el tiempo del primer nivel no se debe reiniciar el cronometro, debe seguir tomando el tiempo.

Ejemplo: 5cm → 10 seg.

5cm → 0 - 10 seg.

10cm → 15 seg.

10cm → 0 - 15seg.

Forma correcta

Forma incorrecta

- Para ver los datos con mayor exactitud, se recomienda estar atentos cuando se alcance un nivel de referencia, presionar el cronometro, este guarda el tiempo sin detenerse y luego se observa el valor de voltaje. Al final de la práctica revise los valores de tiempo guardados en el cronometro.
- Ajuste la posiciones de las válvulas como se muestra en la próxima tabla 19.

Tabla 19. Posición de cada válvula (practica 3).

Válvula 1	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 4	Válvula 5
Cerrada para llenar tanque	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Cerrada para llenado lento
Abierta para vaciar tanque				Abierta para llenado rápido

- Para la recolección de datos la idea es tomar el valor de nivel referencia, tomar el tiempo que demoró en alcanzar ese nivel y el voltaje para ese nivel.

6. La primera recolección de datos se hará para llenado lento y será de la siguiente forma:
 - a. A medida que se va llenando el tanque cada 5cm se tomará una lectura de las 3 variables que se están manejando; es decir de 5cm en 5cm se tomará un valor de nivel, el valor del tiempo que demoró en alcanzar ese nivel y el voltaje para ese nivel.
7. La segunda recolección de datos se hará para llenado rápido, siguiendo los mismos pasos que para llenado lento. Todas las recolecciones se deben tomar desde nivel 0cm hasta alcanzar 70cm.
8. Recuerde que para llenado rápido la válvula número 5, debe permitir el paso de agua, el caso opuesto sucede para llenado lento, donde solo la bomba numero 1 llena al tanque.
9. Valores a tomar:
 - a. Nivel en el cual va tomar los datos (respetar la escala).
 - b. Valores de voltajes por nivel que se observan en el multímetro.
 - c. Tomar el tiempo para cada nivel.
 - d. Incluir cualquier valor que considere relevante de nivel o voltaje.

6.5. Actividades propuestas

- ✓ Con los datos obtenidos realice las siguientes curvas:
 - a. Con los datos tomados para cada una de las 2 toma de datos del montaje para llenado lento (prueba 1 y prueba 2), realice sus curvas: voltaje del transmisor de nivel vs nivel de referencia y nivel de referencia vs tiempo de llenado.
 - b. Con los datos tomados para cada una de las 2 toma de datos del montaje para llenado rápido (prueba 1 y prueba 2), realice sus curvas: voltaje del transmisor de nivel vs nivel de referencia y nivel de referencia vs tiempo de llenado.

Realice el análisis de las curvas para los puntos anteriores (a, b).

- ✓ ¿Qué diferencia encuentra entre las curvas características para llenado lento y llenado rápido?.

- ✓ Encontró la relación V/cm, que se presenta con la variación de voltaje, cada vez que se pasa hacia el siguiente nivel de referencia.

- ✓ Encontró la relación seg/cm, que se presenta con la variación de tiempo cada vez que se alcanza el siguiente nivel de referencia.

7. Comprobación del principio de los vasos comunicantes empleando transmisores

7.1. Introducción

La variable que será objeto de estudio en esta práctica será la de nivel, por lo tanto se trabajará con la planta denominada tanques en paralelo donde se llevará a cabo la demostración de un principio de la estática de fluidos, que deriva del principio de pascal, llamado el principio de los vasos comunicantes.

Como se puede observar en dicha planta se tienen dos tanques de casi similar altura, la comunicación entre ellos se puede realizar a través de la manipulación de una válvula que se encuentra entre los dos tanques en la parte inferior, haciéndolos idóneos para nuestra práctica.

Teniendo en cuenta que hay ciertos parámetros que pueden afectar nuestra medición, se debe entender claramente este principio, ya que cuando se realicen las prácticas se tendrán algunos errores de medición; debido a la pequeña diferencia de altura entre los dos tanques.

7.2. Objetivos

Demostrar que los principios básicos establecidos desde hace mucho tiempo, se aplican aun hoy en la instrumentación contemporánea. Comprobando el principio de los vasos comunicantes en la planta piloto tanques en paralelo.

7.3. Instrumentación

La instrumentación de medición que será agregada a la planta piloto para realizar esta práctica es la siguiente:

7.3.1. Instrumentación de medición

- ✓ 2 multímetro con sus respectivas puntas de medición.

7.3.2. Instrumentación de la planta

- ✓ 2 bombas sumergibles
- ✓ 1 transmisor de nivel por presión diferencial 1151
- ✓ 1 transmisor de nivel por presión diferencial 3051

7.4. Procedimiento

Para el montaje de esta práctica además de la planta, solo se requerirá de dos multímetros conectados a las salidas de los trasmisores de nivel y el cronometro. Los pasos a seguir para su desarrollo son los siguientes:

1. En la parte superior del panel lateral se tienen los bornes positivo y negativo del transmisor de nivel del segundo tanque, se procede a conectar un multímetro ajustado para medir voltaje, en modo dc.
2. Debajo de los bornes mencionados anteriormente se encuentran localizados los bornes del transmisor de nivel del tanque numero1, de igual manera en ellos conecte otro multímetro en las mismas condiciones del primero.
3. Se recomienda marcar los multímetros, para identificar a que tanque pertenece la medición vista en ellos. Además se recomienda ubicarlos en un sitio donde pueda ver ambas lecturas de manera cómoda.
4. Debe ajustar las válvulas cada vez que realice una medición, por lo que en la tabla 20 se muestra cómo deben estar posicionadas

Tabla 20. Posición que debe tener cada válvula (practica 4).

Válvula 1	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 4	Válvula 5
Cerrada al momento de llenado	Cerrada al momento de llenado	Cerrada al momento de llenado	Cerrada	Cerrada
Solo abierta para vaciar tanques para llenar siguiente nivel de referencia	Solo abierta para vaciar tanques para llenar siguiente nivel de referencia	Abierta al momento de equilibrio		

5. Cada vez que vaya a tomar los datos para cada nivel de referencia deberá vaciar por completo ambos tanques y cerrar la válvula de intercomunicación; para vaciar los tanques use las válvulas v1 y v2; la válvula 3 debe permanecer cerrada y solo la abrirá cuando vaya a comunicar los dos tanques.
6. Los niveles de referencia serán tomados de 5cm en 5cm, usando el tanque numero 1 como tanque de referencia; el máximo nivel de referencia será 60cm y el mínimo será 0cm.
7. La recolección de datos se llevará a cabo de la siguiente forma:
 - a. Ajustadas las válvulas proceda a llenar ambos tanques por separado, por lo que la válvula 3 no debe permitir comunicación entre los tanques.
 - b. Llene el tanque 1 hasta el primer nivel de referencia, apunte el nivel y el valor de voltaje asociado a este, el cual es el voltaje en el transmisor 1; además apunte el valor de voltaje y el de nivel del tanque número 2.
 - c. Ahora antes de comunicar los tanques, debe realizar los cálculos para saber previamente que valor de nivel equivalente deberá obtener, además del tiempo que se demorarán en alcanzar el equilibrio. Emplee las ecuaciones 1 y 2.
 - d. Hecho lo anterior, proceda a abrir la válvula 3 donde comprobará si los “tanque comunicantes” obtienen el nivel calculado y es semejante en ambos casos. Apunte los valores obtenidos de voltaje que tienen los transmisores en este nivel equivalente y el nivel en cada tanque.
 - e. Recuerde que por la pequeña diferencia de altura entre los tanques el nivel equivalente variará, pero se tiene la tolerancia de variación

de +/- 1 cm, esto debido a que la diferencia de altura entre los tanques es de aproximadamente ese valor.

- f. Tomados los valores, abra las válvulas v1 y v2, para que sacar el agua de los tanques; cierre de nuevo la comunicación entre los tanques, es decir cierre v3.
 - g. Estando vacío los tanques, cierre las válvulas v1 y v2, y proceda a llenar hasta el siguiente nivel de referencia. Para cada nivel de referencia deberá seguir todos los pasos anteriores.
8. Valores a tomar:
- a. Niveles de referencia en el cual va tomar los datos. (nivel del tanque1).
 - b. Niveles del tanque numero 2 cuando todavía no hay comunicación.
 - c. Valores de voltajes para cada nivel de referencia sin comunicación del transmisor 1.
 - d. Valores de voltajes para cada nivel de referencia sin comunicación del transmisor 2.
 - e. Valores de nivel para el tanque 1 cuando están comunicados.
 - f. Valores de nivel para el tanque 2 cuando están comunicados.
 - g. Valores de voltajes del transmisor 1 para cada nivel de referencia cuando hay comunicación de los tanques.
 - h. Valores de voltajes del transmisor 2 para cada nivel de referencia cuando hay comunicación de los tanques.
 - i. Incluir cualquier valor que considere relevante de nivel o voltaje

7.5. Actividades propuestas

- ✓ Con los datos obtenidos realice las siguientes curvas:

- a. Con los datos tomados del montaje con los 2 tanques incomunicados, realice sus curvas: nivel de referencia del tanque 1 vs voltaje en el transmisor del tanque 1 y nivel de referencia del tanque 2 vs voltaje en el transmisor del tanque 2.
- b. Con los datos tomados del montaje con los 2 tanques comunicados, realice sus curvas: nivel de referencia del tanque 1 vs voltaje en el transmisor del tanque 1 y nivel de referencia del tanque 2 vs voltaje en el transmisor del tanque 2.

Realice el análisis de las curvas para los puntos anteriores (a, b).

- ✓ Realice los cálculos para cada nivel de referencia, cuál debe ser el valor de nivel de equilibrio cuando se intercomunican los tanques, y cuanto tiempo se demorará en alcanzar el equilibrio.

- ✓ ¿Qué sucedería si los recipientes no contuvieran líquidos homogéneos?

- ✓ ¿Qué pasaría si el tubo comunicador estuviera en el centro y no en la base?

8. Funcionamiento de una válvula de control

8.1. Introducción

En la quinta practica se analizará el comportamiento de la instrumentación ligada a la variable presión, siendo más precisos se estudiará el funcionamiento y comportamiento de una válvula de diafragma para control automático con actuador de aire para abrir, en otras palabras se trabajará con una válvula neumática que realiza sus funciones partiendo de un flujo de aire que se le envié al actuador proveniente de un convertidor I/P.

La válvula neumática se encuentra ensamblada en la planta piloto de presión de tanques en serie, esta planta posee una serie de válvulas que de no estar ajustada de la forma que se indicará más adelante, entregará datos diferentes a los esperados.

Los datos para el análisis se obtendrán a partir de los distintos manómetros de la planta, además de algunos valores entregados por el supervisorio de la planta y el controlador lógico programable.

8.2. Objetivos

Desarrollar una práctica que permita establecer patrones de funcionamiento de la válvula de control neumática de la planta piloto tanques en serie, teniendo en cuenta a la instrumentación que la acompaña.

8.3. Instrumentación

Para esta práctica no se adicionará ningún instrumento de medición adicional, los datos se obtendrán de la misma planta, más precisamente de los manómetros encontrados en ella.

8.3.1. Instrumentación de medición

- ✓ 4 manómetros

8.3.2. Instrumentación de la planta

- ✓ 1 compresor de aire.
- ✓ 1 controlador lógico programable.
- ✓ 1 controlador UDC Honeywell.
- ✓ 1 convertidor I/P.
- ✓ 1 filtro de aire.
- ✓ 4 manómetros.
- ✓ 2 reguladores de presión.
- ✓ 1 tanque de reserva.
- ✓ 1 tanque principal.
- ✓ 1 tanque secundario.
- ✓ 1 transmisor de presión.

8.4. Procedimiento

Para observar el comportamiento de la válvula, primero hay que seguir una serie de pasos que permitan entender cómo se debe ajustar el entorno que rodea la válvula. Ya sabe algunos como la puesta en marcha de la planta, ahora se hará un enfoque en las configuraciones de los elementos que conforman la planta. Dichos pasos son los siguientes:

1. La configuración más crítica de toda la planta es el ajuste de las válvulas, por lo que en la tabla 21 se muestran dichas configuraciones:

Tabla 21. Configuraciones de la válvula.

VALVULAS	V1	V2	V3
DESCRIPCION	Válvula de comunicación entre el compresor y el tanque de reserva	Válvula de purga del tanque de reserva	Válvula bypass
EN LLENADO	Abierta	Cerrada	Cerrada
EN VACIADO	Abierta	Cerrada	Abierta
VALVULAS	V4	V5	V6
DESCRIPCION	Válvula de comunicación entre el tanque 1 y el tanque 2	Válvula de salida del tanque 1	Válvula de salida del tanque 2
EN LLENADO	Abierta	Cerrada	Abierta
EN VACIADO	Abierta	Abierta	Abierta

2. Para la válvula número 4 hay que hacer un ajuste especial, se realiza de la siguiente manera:
 - a. Partiendo de la posición totalmente cerrada de la válvula, esta se abre hasta que el punto blanco que posee en un extremo de la llave este perpendicular al tanque.
 - b. Luego de lo anterior se dan 5 vueltas a la llave en el sentido de apertura de la misma. Es necesario verificar que no haya fuga de aire por la válvula.
3. Antes de la recolección de datos deberá ejecutar todo el software requerido y llegar al supervisorio, donde realiza lo siguiente:
 - a. Va a la etiqueta PID, en el label "Set Point" y digita el valor de set point de 10 psi, y da enter.
 - b. Haga click sobre la casa para volver a la vista principal, vera que la barra sobre la válvula proporcional comienza a llenarse (de color

- violeta), espere a que se llene totalmente, o sea que diga 100% en el menú del PID.
- c. Luego haga click sobre el botón de encendido de color verde y espere que la planta realice el proceso de control de set point.
 - d. Después de haber alcanzado el set point y proceda a realizar el proceso de vaciado, el cual se hace de la siguiente manera:
 - a. Apague el compresor
 - b. Abra las válvulas V3, V5
 - c. Espere a que todos los manómetros indiquen 0 psi o 0 bar.
4. Esta fue una prueba inicial de la planta, esto se hace con el fin de reajustar la planta por posibles desajustes. Si después de hecho lo anterior el transmisor en el supervisorio muestra valores distintos a 1 psi, se recomienda realizar el ajuste del Spam y el Zero.
5. Si es necesario realizar el ajuste del Zero y el spam debe seguir los siguientes pasos:
- a. Deberá quitar el panel principal de la planta ya que el transmisor se encuentra detrás de este, después de hecho eso, verifique cuál de los dos tornillos que tiene el transmisor es el Zero y cuál es el spam.
 - b. Después de haber identificado cual es el tornillo del Zero proceda ajustarlo al valor de 1 psi, se ajusta a este valor porque en tanques semis cerrados como estos se mantiene una presión mínima, quizás despreciable que se manejará con el valor de 1 psi.
 - c. Para disminuir y aproximar a 1psi el Zero, gire el tornillo en sentido anti horario, si por el contrario quiere aumentar el Zero, gire el torillo en sentido horario.

Si requiere de hacer ajuste de los parámetros de Zero y Spam, en la figura 83 se muestra su localización.

Figura 83. Posición de los tornillos de ajustes de zero y spam



6. Los datos de estas práctica serán tomados tanto de la planta como del supervisorio, estos valores son las presiones en los manómetros de la planta y la presión transmitida por el trasmisor de presión visto desde el supervisorio.
 - a. Se tomará la presión en el manómetro número 1, que se denominará como la presión de entrada a la válvula proporcional.
 - b. La presión en el manómetro número 2, es la presión proveniente del convertidor I/P que llega al actuador, más precisamente al diafragma para que este permita o niegue el paso de presión de entrada hacia los tanques. Esta presión en el actuador va de mínimo 3psi hasta 15 psi.
 - c. Se apuntará los datos de presión en el manómetro 3, que es la presión regulada a 20psi, la cual es la presión de trabajo que debe tener el convertidor I/P para trabajar en óptimas condiciones.
 - d. Por último se tiene la presión en el manómetro 4, el cual se encuentra en bar. Se recomienda instalar un manómetro en la "T" en la parte posterior del trasmisor para verificar la presión que llega al trasmisor y que debería ser igual al set point que se ha programado en el supervisorio.
 - e. Por último se tiene la presión en el supervisorio, que será la señal transmitida por el trasmisor.
7. Los datos se recolectarán de 2 en 2 set point, partiendo desde el set point 2psi, y hasta alcanzar el set point 20 psi, por lo que se tendrán la toma de datos de 10 set point distintos.
8. La recolección de datos se realizará así:
 - a. En la vista principal del supervisorio o en la etiqueta PID, se hace click sobre el label "Set Point" y se digita el valor de set point con el

cual se va a trabajar, y se da enter.

- b. Si entro a la etiqueta PID haga click sobre la casa para volver a la vista principal, verá que la barra sobre la válvula proporcional comienza a llenarse (de color violeta), espere a que se llene totalmente, o sea que diga 100%.
- c. Luego haga click sobre el botón de encendido de color verde y espere que la planta realice el proceso de control de set point.
- d. Cuente 3 picos de presión en el supervisorio y tome los valores de presión mencionados al inicio. (los picos de presión son las veces que la presión en el transmisor supera el set point establecido).
- e. Después de los 3 picos de presión, si la válvula proporcional no cerró completamente, espere que la presión llegue hasta el set point y tome el porcentaje de apertura de la válvula.
Ejemplo: Set point 10psi/2.2%apertura de válvula
- f. Por ultimo luego de haber tomado los datos correspondientes, se procede a realizar el proceso de vaciado, el cual se hace de la siguiente manera:
 - a. Apague el compresor
 - b. Abra las válvulas V3, V5
 - c. Espere a que todos los manómetros indiquen 0 psi o 0 bar.

9. Valores a tomar:

- a. La presión en el manómetro número 1.
- b. La presión en el manómetro número 2.
- c. La presión en el manómetro número 3.
- d. La presión en el manómetro número 4.
- e. La presión entregada por el transmisor en el supervisorio
- f. Porcentaje de apertura de la válvula proporcional.

8.5. Actividades propuestas

- ✓ Con los datos obtenidos realice las siguientes curvas:

Realice en un sola gráfica, las curvas: presión de entrada vs set points de referencia, presión en el actuador vs set points de referencia, presión en el convertidor I/P vs set points de referencia, presión en el manómetro 4 vs set points de referencia y presión en el supervisorio del set point vs set points de referencia.

- ✓ Realiza una descripción detallada del funcionamiento de la válvula neumática de control, usando las presiones que usa esa planta piloto.

- ✓ Enumere y explique las acciones realizadas por los actuadores

- ✓ Realice una gráfica donde muestre cada una de las partes de una válvula de control neumática, como la que se encuentra en el laboratorio de control automático de la UTB.

CONCLUSIONES

Las conclusiones de esta monografía se basarán en la aceptación o negación

de las hipótesis propuestas anteriormente, se realizarán conclusiones para cada práctica elaborada

➤ **Generales**

- ✓ Este documento se ha convertido en una fuente de conocimiento e implementación de la instrumentación industrial, ligada a las variables tratadas.
- ✓ La documentación establecida permite al usuario trabajar con instrumentos de uso frecuente en el ámbito laboral, posibilitando una respuesta rápida y eficiente ante situaciones que involucren mencionados equipos.
- ✓ Como estudiantes, ingenieros y personal ligado a esta área, se tendrá en esta monografía un respaldo que permitirá resolver y afianzar conceptos.
- ✓ Con la idea de permitir la rápida identificación de la instrumentación, se ofreció una monografía dotada de fotos, diagramas y tablas, otorgándole a la misma un carácter didáctico y entendible.

➤ **Conclusiones de la primera práctica**

- ✓ Se han creado las competencias suficientes para comprender y realizar la implementación de las termocuplas y la RTD dentro del campo industrial.
- ✓ Se establecieron los fundamentos necesarios de forma clara y concisa, facilitando la comprensión y entendimiento de la instrumentación industrial estudiada en la práctica.
- ✓ A partir de los datos recolectados en los procesos, se realizó la caracterización de los elementos industriales involucrados en esta práctica, entregando las curvas esperadas.

➤ **Conclusiones de la segunda practica**

- ✓ Buscando generar las competencias que permitan entender el

funcionamiento de los transmisores de caudal, se entregaron las bases conceptuales necesarias sobre el transmisor en cuestión.

- ✓ Se efectuó la caracterización del transmisor de caudal, donde se demostró que a pesar del aumento de flujo, el equipo y sus curvas se comportan de forma constante.
- ✓ Entendiendo que cada instrumento industrial y haciendo énfasis en los transmisores de caudal, se concluyó que cada uno tiene su propia curva característica, por eso no se generaliza que el comportamiento de otros transmisores debe ser idéntico al caracterizado. Lo que no dice que se puedan parecer al obtenido.

➤ **Conclusiones de la tercera practica**

- ✓ A través de esta práctica se obtuvieron las competencias necesarias para el manejo de los transmisores de nivel, basados en presión diferencial.
- ✓ Se elaboró un fundamento teórico basado en el funcionamiento de los transmisores de presión diferencial, siendo empleados como transmisores de nivel, para esto se utilizó el principio de pascal.
- ✓ Se llevó a cabo la caracterización del transmisor de nivel del tanque número 1, generando así las curvas que permitan establecer las formas de comportamiento del transmisor debidas a los cambio en las velocidades de llenado.

➤ **Conclusiones de la cuarta practica**

- ✓ Como medio de información se elaboró unadocumentación donde se

explica el principio de los vasos comunicantes de manera clara y concisa, permitiendo la facilidad de dominio del tema.

- ✓ Se demostró que la instrumentación industrial está sometida a los principios o leyes físicas,.
- ✓ Se realizó la recolección de datos que permitirá elaborar las curvas características para los transmisores de nivel, cuando no se encuentran comunicados, y cuando están comunicados.

➤ **Conclusiones de la quinta practica**

- ✓ Con una completa documentación acerca de las válvulas de control, se posibilita la generación de competencias sobre el manejo, implementación y partes que intervienen en una válvula de control.
- ✓ Se realizó el análisis del comportamiento de la válvula de control para distintos set point, demostrando la funcionalidad y efectividad de la misma.
- ✓ Con los datos recolectados se generó una serie de curvas donde se puede evidenciar el comportamiento de los diferentes elementos de la planta analizados en el fundamento de esta práctica.

BIBLIOGRAFIAS

Para facilitar el uso de la bibliografía, se separó esta según la práctica donde

fue empleada, teniendo entonces:

Primera práctica

(*)Arian. Nota técnica 4

<http://www.arian.cl>

<http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

(*) Departamento de tecnología electrónica, Universidad politécnica de Cartagena. Tema 3: sensores basados en efectos resistivos

(*) Lic. Luccas Roberto Fabián. Elementos de medición de temperatura – Termometría por debajo del umbral de 1 K.

(*) Rómulo Sandoval Flórez.Sensores: calibración de una termocupla

http://www.fisica.ru/dfmq/teacher/archivos/sensores_termocupla.pdf

http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm

http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm

http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas3.htm

http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termorresistencias.htm

<http://www.unet.edu.ve/~ielectro/Sensores%20de%20Temperatura.htm>

<http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/teoria/temperatura/Temperatura.html>

<http://www.thermometriccorp.com/detdelatemde.html>

<http://www.monografias.com/trabajos3/transductores/transductores.shtml>

<http://www.ingecozs.com/pt100.pdf>

<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7362>

Segunda práctica

(*)Burkert fluid control system. Transmisor de caudal 8035 manual de

instrucciones

(*) Automatización planta piloto intercambiador de calor, Laura Marcela Ibarra Gómez, Ronald Enrique Lucero Guzmán, 2009.

Tercera práctica

(*) Autor desconocido. Capítulo 2.3 Nivel.

(*) Autor desconocido. Instrument nivel.

(*) Emerson Rosemount. Manual transmisor de nivel 1151, guía de instalación rápida. Julio 2009.

(*) Automatización de una planta piloto de nivel de dos tanques en paralelo, Víctor Manuel Chávez corcho, Nicolás Mauricio Montenegro Gómez, 2009.

<http://www.qsaincorporated.com/manufacturers/Rosemount1.html>

<http://sag->

[automation.com/Files/Emerson/Measurement/measurementprod.html](http://www.dorematrading.com/web/index.php?option=com_content&view=article&id=100:-rosemount-1151-series-electronic-transmitters&catid=19:instrumentation&Itemid=101)

http://www.dorematrading.com/web/index.php?option=com_content&view=article&id=100:-rosemount-1151-series-electronic-transmitters&catid=19:instrumentation&Itemid=101

Cuarta práctica

(*) Autor desconocido. Capítulo 2.3 Nivel.

(*) Autor desconocido. Instrument nivel.

(*) Emerson Rosemount. Manual transmisor de nivel 1151, guía de instalación rápida. Julio 2009.

(*) Infografía: Juan Emilio Serrano, textos: Manuel Irusta / EL MUNDO. Vasos comunicantes.

(*) Roberto García, Hernán Gómez, Iván Sánchez. Principio de pascal: vasos comunicantes y paradoja hidrostática, manual de laboratorios de mecánica de fluidos.

(*) Emerson Rosemount. Rosemount 3051 pressure transmitter manual.

(*) Víctor Manuel Chávez corcho, Nicolás Mauricio Montenegro Gómez, 2009.

Automatización de una planta piloto de nivel de dos tanques en paralelo.

http://www.upct.es/contenido/seeu/as/divulgacion_cyt_09/Libro_Historia_Ciencia/web/vasos_comunicantes.htm

<http://www.monografias.com/trabajos5/estat/estat.shtml>

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/dinamica/vasos/vasos.htm>

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/paradoja/paradoja.htm>

<http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Documents/00813-0109-4001.pdf>

Quinta práctica

(*) Eugenio Vildósola C, Soltex Chile S.A. Actuadores.

(*) Autor desconocido. Neumática proporcional.

(*) Emerson processmanagement, fourthedition, Fisher. Control valvehandbook.

(*) Ing. Eduardo N. Álvarez. Glosario válvula de Control

(*) Professor DaeRyook Yang, dept. of chemical and biological engineering, Korea University. Actuator and control valveselection. 2009.

(*)Simetecnica. Mantención de válvulas.

(*) Deivi Alexander Cadena Silva, Jesús Alfredo Vásquez Castillo, Freddy José Guzmán Pérez. Automatización de una planta piloto de presión de tanques en serie. 2009.

<http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/control-hardware-el-pn-actuation/control-valve-actuators-and-positioners.asp>

<http://www.centauro-owners.com/articles/psibar.html>

<http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>

<http://www.proyectosfindecarrera.com/control-neumatico.htm>

<http://www.monografias.com/trabajos15/actuadores/actuadores.shtml>

<http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-completo-instrumentacion-industrial/223-actuadores-en-valvulas-de-control.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Neum%C3%A1tica>

<http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-completo-instrumentacion-industrial/224-los-posicionadores-de-valvulas-conceptos-claros-y-definitivos.html>

Nota: (*) se encuentra en la carpeta “anexo bibliográfico” del CD de la monografía.