



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



# MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL



Profesora: M. en A. Concepción Soberanes Pérez

CIUDAD DE MÉXICO, A 31 ENERO DE 2024



## CONTENIDO

	Página
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>Circuitos de control</b>	
<b>Nomenclatura y simbología</b>	
<b>PRÁCTICA 1. BALANZA DE PESOS MUERTOS .....</b>	<b>13</b>
<b>PRÁCTICA 2. TRANSMISORES .....</b>	<b>34</b>
<b>PRÁCTICA 3. RECEPTORES .....</b>	<b>65</b>
<b>PRÁCTICA 4. CURVA DE OPERACIÓN DE UNA PLACA DE ORIFICIO.....</b>	<b>85</b>
<b>PRÁCTICA 5. POTENCIÓMETRO PATRÓN.....</b>	<b>106</b>
<b>PRÁCTICA 6. MODO DE CONTROL 2 POSICIONES (ON-OFF).....</b>	<b>119</b>
<b>PRÁCTICA 7. MODO DE CONTROL PROPORCIONAL.....</b>	<b>143</b>
<b>PRÁCTICA 8. MODO DE CONTROL PROPORCIONAL CON INTEGRAL O REAJUSTE.....</b>	<b>166</b>
<b>PRÁCTICA 9. VÁLVULA DE CONTROL.....</b>	<b>177</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>199</b>

# **INTRODUCCIÓN**



En todo proceso industrial, por muy sencillo que sea, es siempre necesario el uso de instrumentos de medición y control que permitan entre otras cosas mantener los parámetros de calidad de los productos generados por el proceso, supervisar la operación del proceso, determinar condiciones inseguras de operación etcétera.

En este manual se desarrollan 9 prácticas operativas que contemplan los diferentes instrumentos que conforman un circuito de control (elemento primario de medición, transmisor, receptor registrador, receptor indicador, controlador y el elemento final de control, siendo este último una válvula de control).

Antes de comenzar con el desarrollo de las prácticas operativas es importante tener conocimientos previos sobre los circuitos de control, nomenclatura y simbología de los diferentes instrumentos antes señalados, es por ello que a continuación se proporciona una breve descripción de dicha información, con el objetivo de apoyar al estudiante en su aprendizaje sobre ésta área del conocimiento.

### **Circuitos de Control.**

Se define el circuito de control como la combinación de uno o más instrumentos interconectados para medir o controlar, o ambos, una variable de proceso. Al circuito de control también se le conoce como bucle o lazo de control.

Los circuitos de control se clasifican en:

- a) Circuito de control abierto.
- b) Circuito de control prealimentado.
- c) Circuito de control retroalimentado.

#### **a) Circuito de Control Abierto.**

Una máquina lavadora es un ejemplo de circuito de control abierto, en donde el operador hace una medición (el hecho de que una carga de ropa esté sucia), compara esta medición con el objeto deseado, (el hecho de tener ropa limpia) y se hace una predicción, ajustando el ciclo de lavado y agregando jabón. El operador arranca la máquina y atiende otros asuntos considerando que la predicción hecha va a dar los resultados deseados, si esto es correcto, la ropa debe salir completamente limpia. Esto demuestra que el circuito de control abierto es capaz de un perfecto control, pero si una variable que afecte al proceso varía en calidad o en cantidad el objetivo no se alcanza y el circuito de control no es perfecto. Como la lavadora no hace una comparación final con los resultados deseados, cualquier error en la predicción (programa fijo) debe producir diferencia entre los resultados alcanzados, ver figura a.

#### **b) Circuito de Control Prelimentado.**

En el circuito de control prealimentado se efectúa una medición en la entrada lo cual permite hacer una corrección en los aditivos usados y obtener así el objetivo deseado, ver figura b.



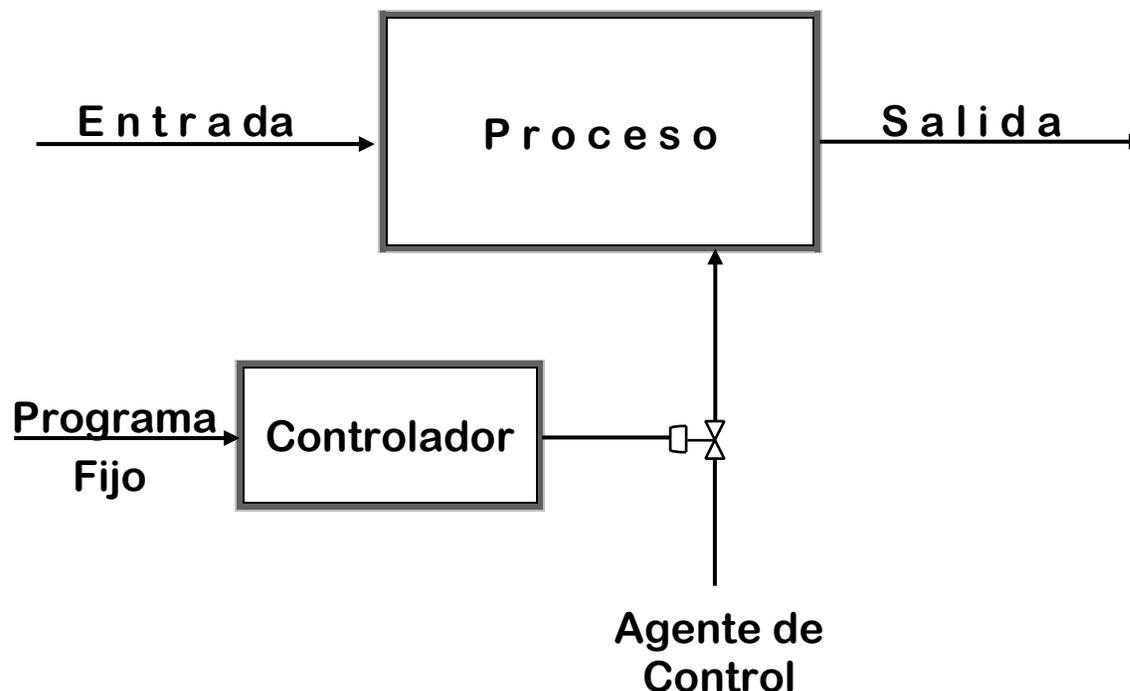
Este control se parece al circuito de control abierto en cuanto a la predicción, pero difiere en cuanto a que no tiene un programa fijo, sino que se regula de acuerdo a las necesidades, ya, que, cualquier cambio en la entrada produce una acción correctiva en el proceso, este tipo de control es de tipo cerrado.

Para usar este tipo de control, es necesario conocer a detalle el efecto que causa una variación en la entrada sobre el producto final para programar la corrección. Muy pocos procesos se han programado en este sistema en virtud del costo de la investigación.

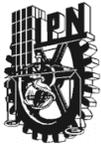
### c) Circuito de Control Retroalimentado.

Este circuito de control es cerrado. A diferencia del circuito de control pre-alimentado, la medición se efectúa a la salida del proceso, se compara con el punto de referencia y se toma una acción correctiva cuando hay diferencia entre ambas informaciones.

Este tipo de control necesita detectar una diferencia o error entre la salida (producto) y el punto de referencia, set point o valor deseado, por lo tanto no es capaz de un perfecto control como los anteriores, pero es económicamente el más práctico, siempre y cuando el error sea permisible dentro del control de calidad del producto final, ver figura c.



**Figura a.** Circuito de Control Abierto.  
(Es un Circuito de Control Predictivo donde No hay Monitoreo del Producto)



INTRODUCCIÓN

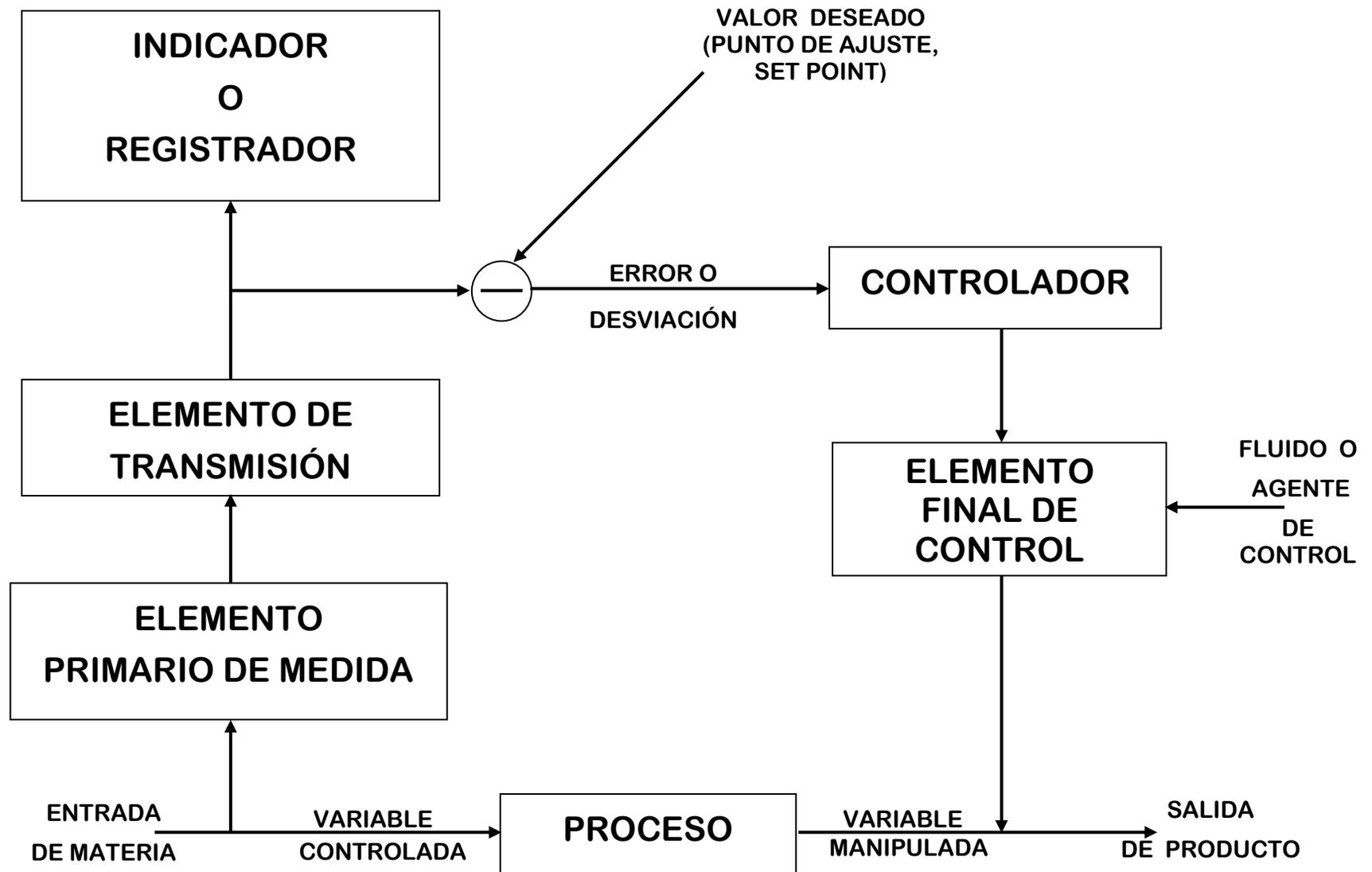


Figura b. Diagrama de Bloques de un Circuito de Control Cerrado Pre-alimentado.

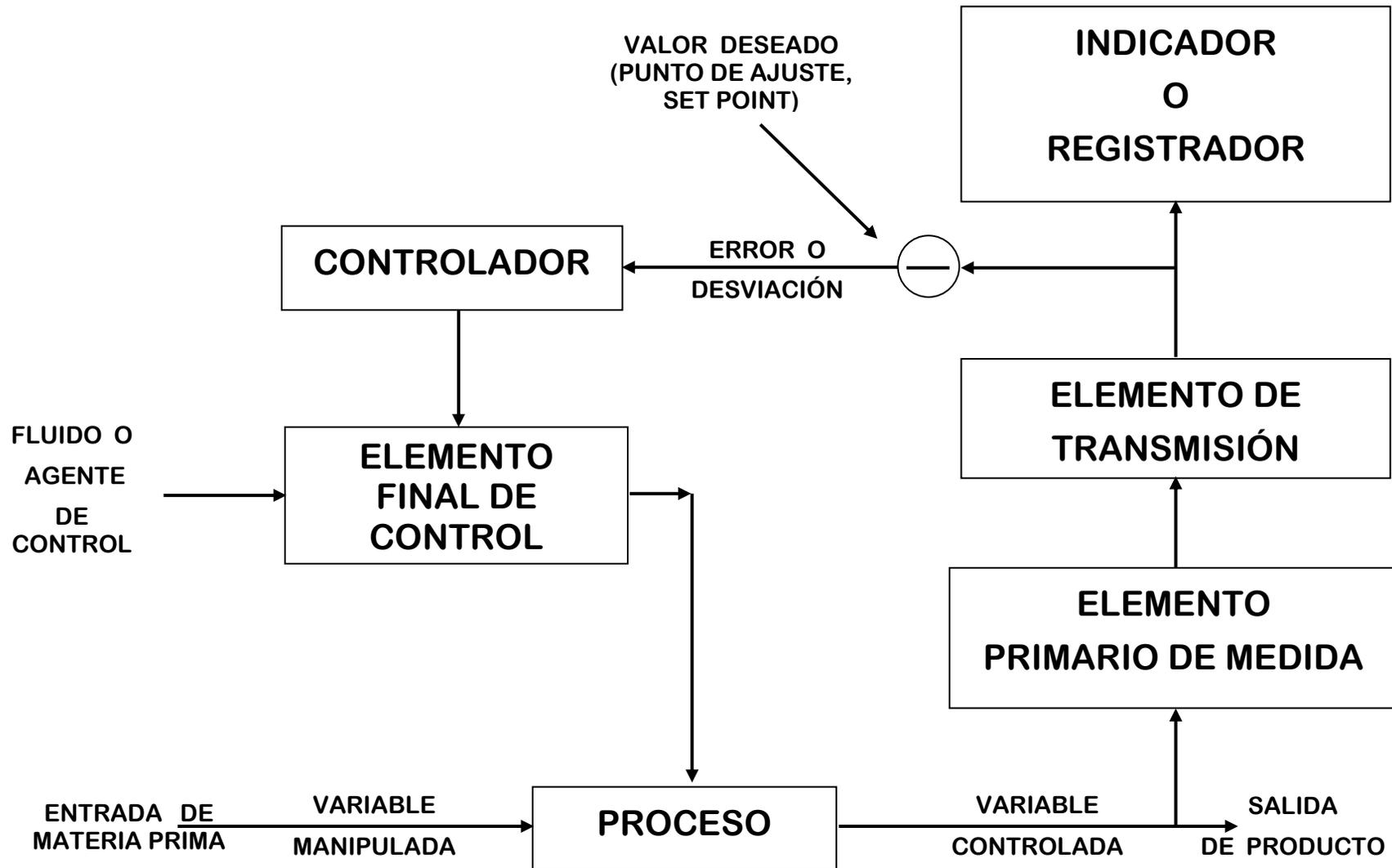
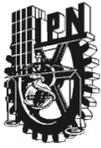


Figura c. Diagrama de Bloques de un Circuito de Control Cerrado Retroalimentado.



## INTRODUCCIÓN

### Nomenclatura y Simbología.

Para identificar un instrumento se usan de dos a cuatro letras mayúsculas con las cuales se puede identificar la variable del instrumento, su función y su acción. En la **tabla a**, se enlistan los significados de cada una de las letras en cinco columnas, usando las columnas de izquierda a derecha y solamente una vez. Las letras deben ir dentro del círculo que identifica un instrumento o en un círculo anexo al elemento final.

Por ejemplo: T R C – 12 – A, tiene el siguiente significado:

- T Es Temperatura (primera columna).
- R No aparece en la segunda columna por lo tanto se pasa a la tercera columna y significa Registro (o Registrador).
- C Aparece en la cuarta columna y significa controlar.

Definición: Controlador Registrador de Temperatura.

12-A Es la denominación del usuario y puede ser el número de circuitos de control considerando a la letra A como subdivisión de un circuito, la letra A no es obligatoria en la nomenclatura.

A continuación se enlistan unas notas aclaratorias sobre la aplicación de su significado:

1. Elección del usuario significa que la letra debe usarse para cubrir significados no enlistados y que vayan a emplearse repetitivamente en un proyecto particular. Los significados se definen una sola vez en la leyenda del proyecto. Por ejemplo, la letra N puede definirse como módulo de elasticidad como primera letra, y osciloscopio como letra siguiente.
2. “No clasificada” X significa que se usa para cubrir significados que se utilicen una sola vez o muy limitadamente, por ejemplo XR-2 puede ser un Registrador de Esfuerzos, XR-3 uno de vibración y XX—4 un Osciloscopio de Esfuerzos.
3. La forma gramatical de las letras siguientes puede modificarse según se requiera. Por ejemplo, “Indicar” puede usarse como “Indicador” o “Indicación”; “Transmitir” o “Transmisión”, etcétera.
4. Cualquier “primera letra”, si se utiliza en combinación con las letras modificantes D (diferencial), F (fracción) o Q (totalización), o cualquier combinación de ellas, deberá considerarse que representa una nueva variable, y la combinación deberá tratarse como “primera letra”. De este modo, los instrumentos TDI y TI miden dos variables diferentes (temperatura diferencial y temperatura, respectivamente).
5. La “primera letra” A, para “análisis”, cubre todos los análisis que no se listan en la **tabla a**, y que no están cubiertos por una letra de ‘elección del usuario’. En los diagramas se espera que el tipo de análisis se defina en cada caso fuera del círculo.



INTRODUCCIÓN

6. El uso de la “primera letra” U para “multivariables”, en lugar de una combinación de “primeras letras”, es opcional.

**NOTA:** Las palabras entrecomilladas en las notas 1 al 16 corresponden a partidas de la **tabla a**.

7. Se prefiere el uso de los términos modificantes ‘Alto’, ‘Bajo’, ‘Medio’ y ‘Escrutar’, pero es opcional.
8. El término ‘seguridad’ se aplicará únicamente a elementos protectores de emergencia. De este modo, una válvula auto-operada que impide la operación de un sistema de fluido a una presión mayor que la deseada mediante la extracción del fluido, será una PCV, aún cuando la válvula no se diseñe para que normalmente esté en operación. Sin embargo, esta misma válvula será una PSV si se quiere que proteja contra condiciones de emergencia, es decir, contra condiciones peligrosas para el personal, el equipo o ambos y que no se espera surjan normalmente.

La designación PSV se aplica a todas las válvulas cuya función es proteger contra condiciones de emergencia, sin importar si su construcción o modo de operación las coloca en la categoría de válvulas de seguridad, de alivio o de alivio y seguridad.

9. La función pasiva **MIRILLA** (‘glass’) se aplica a todos los instrumentos que proporcionan una vista directa y no calibrada del proceso.
10. El término **INDICACIÓN**, se refiere únicamente a la presentación del dato de una medición real. No se aplica a una escala para ajuste manual de una variable.
11. Una luz piloto que forme parte de un circuito de instrumentos deberá designarse mediante una “primera letra” seguida por la letra **L**. Por ejemplo, una luz piloto que indique la terminación de un periodo de tiempo puede identificarse como **KL**. Sin embargo si se desea identificar una luz piloto que no sea parte de un circuito formal de instrumentos, ésta se podrá representar en la misma manera o alternativamente, mediante una sola letra **L**. Por ejemplo, una luz piloto que indique cuando un motor eléctrico está operando se puede identificar, ya sea como **EL**, suponiendo que el voltaje sea la variable medida adecuada, o como **XL**, suponiendo que la luz sea activada por contactos eléctricos auxiliares del arrancador del motor, o simplemente como **L**.

La acción de una luz piloto puede ir acompañada de una señal audible.

12. El uso de la “letra siguiente” U para multifunción, en lugar de una combinación de otras letras funcionales, es opcional.



## INTRODUCCIÓN

13. Un dispositivo que conecta, desconecta o transfiere uno o más circuitos puede ser un conmutador, un interruptor, un relevador, un controlador de dos posiciones o excepcionalmente una válvula de control, dependiendo de la aplicación.

Si el dispositivo manipula una corriente de fluido de proceso y no es una válvula manual de dos posiciones, de bloqueo, entonces se le deberá designar como válvula de control. Para todas las demás aplicaciones que no sean corrientes de fluidos de proceso, el dispositivo se deberá designar como sigue:

Conmutador ('switch') si es operado manualmente.

Interruptor ('switch') ó Controlador de dos posiciones si es automático y es, además, el primer dispositivo del circuito.

El término 'interruptor' se utiliza generalmente si el dispositivo se emplea para alarma, luz piloto, selección, interconexión o seguridad.

Se usa Relevador (relay) si es automático y no es el primer dispositivo en el circuito es decir, si es accionado por un interruptor o un controlador de dos posiciones.

14. Se espera que las funciones asociadas con el uso de la "letra siguiente" y se definan fuera del círculo en los diagramas, cuando así resulte conveniente. Esto no necesita hacerse cuando la función sea evidente, como en el caso de las válvulas solenoides.
15. El uso de los términos modificantes Alto, Bajo, y Medio debe corresponder a los valores de la variable medida, no de la señal. Por ejemplo, una alarma de alto nivel derivada de la señal de un transmisor de nivel deberá ser una LAH, aunque la alarma se actúe cuando la señal se vaya a un valor extremo.
16. Los términos Alto y Bajo cuando se aplique a posiciones de válvulas y otros dispositivos de apertura y cierre se definen como sigue: "Alto" denota que la válvula está en, o se acerca a, la posición de apertura total y "Bajo" denota que está en, o se acerca a, la posición de cierre total.

Diario Oficial. (2 de julio de 1987). NOM-Z-61-1987. Norma Oficial Mexicana. Símbolos e Identificación de Instrumentación.



INTRODUCCIÓN

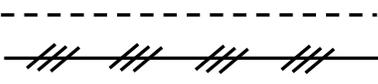
	Primera Letra		Letras Sigüientes		
	Variable Medida o de Iniciación	Modificante	Función Pasiva o de presentación de datos	Función de Salida	Modificante
<b>A</b>	Análisis (5)		Alarma		
<b>B</b>	Flama de quemador		Elección del usuario (1)	Elección del usuario (1)	Elección del usuario (1)
<b>C</b>	Conductividad eléctrica			Controlar (13)	
<b>D</b>	Densidad (masa) o densidad relativa	Diferencial (4)			
<b>E</b>	Voltaje (FEM)		Elemento primario		
<b>F</b>	Flujo	Relación (Fracción) (4)			
<b>G</b>	Calibre		Mirilla (9)		
<b>H</b>	Manual				Alto (7, 15, 16)
<b>I</b>	Corriente eléctrica		Indicar (10)		
<b>J</b>	Potencia	Escrutar (7)			
<b>K</b>	Tiempo o secuencia			Estación de control	
<b>L</b>	Nivel		Luz (piloto) (11)		Bajo (7, 15, 16)
<b>M</b>	Humedad				Medio o intermedio (7, 15)
<b>N(1)</b>	Elección del usuario		Elección del usuario	Elección del usuario	Elección del usuario
<b>O</b>	Elección del usuario (1)		Orificio (restricción)		
<b>P</b>	Presión o vacío		Punto (conexión) de prueba		
<b>Q</b>	Cantidad o evento	Integrar o totalizar (4)			
<b>R</b>	Radioactividad		Registrar o imprimir		
<b>S</b>	Velocidad o frecuencia	Seguridad (B)		Interrumpir (13)	
<b>T</b>	Temperatura			Transmitir	
<b>U</b>	Multivariable (6)		Multifunción (12)	Multifunción (12)	Multifunción (12)
<b>V</b>	Viscosidad			Válvula, compuerta o persiana (13)	
<b>W</b>	Peso o fuerza		Termopozo		
<b>X(2)</b>	No clasificada		No clasificada	No clasificada	No clasificado
<b>Y</b>	Elección del usuario (1)			Relevar o computar (13, 14)	
<b>Z</b>	Posición			Actuar, operar o elemento final de control no clasificado	

Tabla a. Significado de las Letras de Identificación.



### Símbolos de Líneas de Instrumentación.

Estas líneas serán siempre más delgadas que las líneas de tubería de proceso.

	a) Línea de proceso.
	b) Conexión a proceso, unión mecánica y suministro a instrumentos.
	c) Señal neumática incluido cualquier gas que no sea aire.
	c) Señal eléctrica.
	e) Tubo capilar (sistema lleno).
	f) Señal hidráulica.
	g) Señal electromagnética.
	h) Señal digital

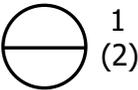
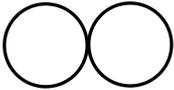
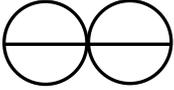
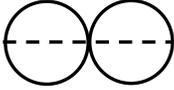
### Símbolos de Instrumentos.

Los instrumentos se simbolizan con un círculo de 1.1 cm de diámetro aproximadamente, dentro de este círculo deberán ir las letras y números que se identifiquen con dicho instrumento, en caso de que el instrumento tenga una doble función; por ejemplo, un instrumento que tenga dos controladores, se deben usar dos círculos tangenciales, utilizando una clave para cada uno de ellos.

Opcionalmente puede ser un instrumento de una sola variable con más de una función conforme sea necesario, pueden agregarse círculos tangenciales.



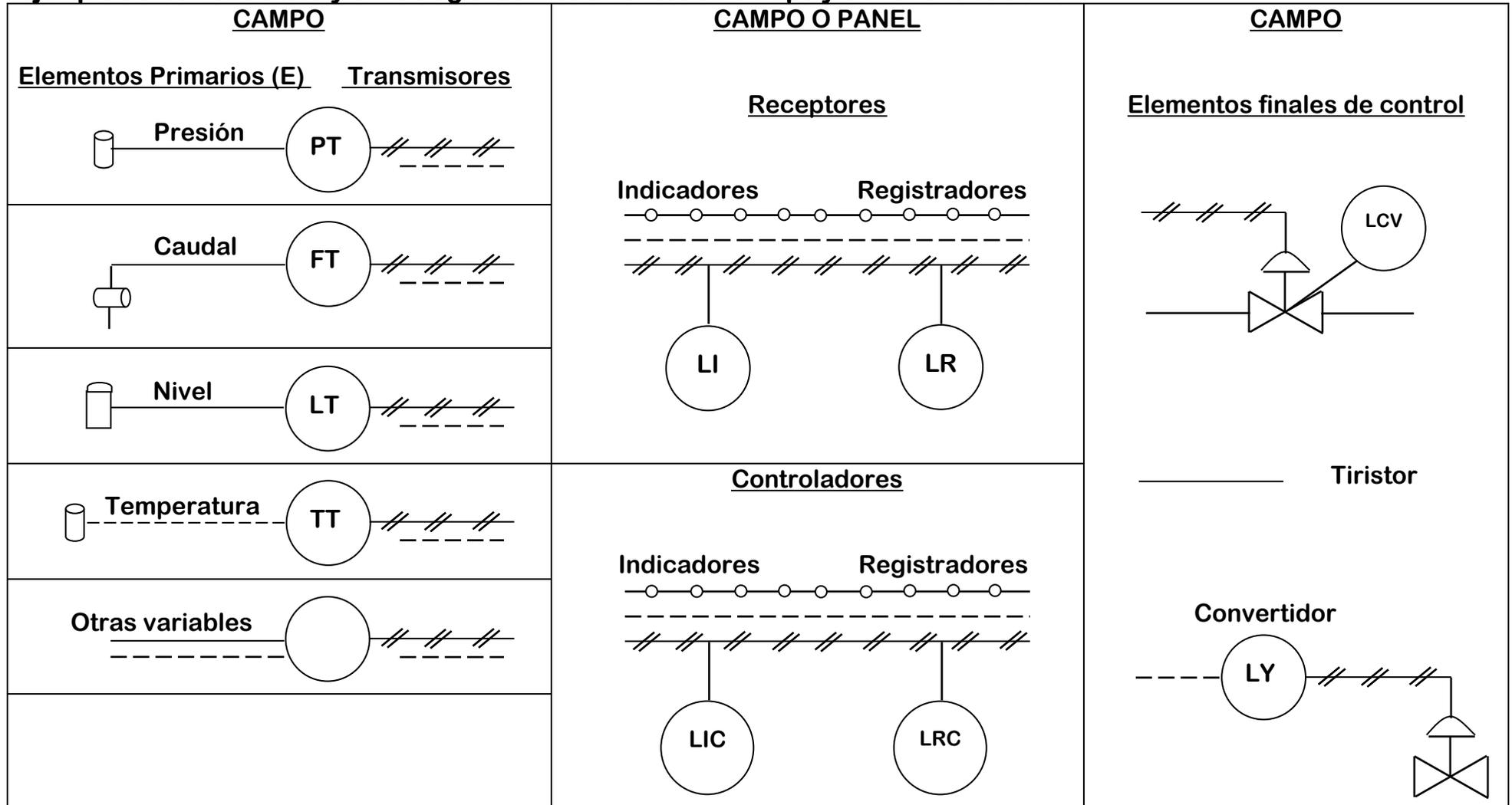
INTRODUCCIÓN

 <p>Aproximadamente 1.1 cm de diámetro.</p>	 <p>Montado en el tablero 1 ó 2 como alternativa, el tablero 2 se puede representar con 2 líneas horizontales en lugar de una y omitir la identificación fuera del círculo.</p>	 <p>Montado atrás del tablero.</p>
 <p>Montado localmente</p>	 <p>Montado en el tablero principal</p>	<p>Auxiliar</p>  <p>Montado atrás del tablero auxiliar se pueden utilizar dos líneas horizontales.</p>



INTRODUCCIÓN

Ejemplo de Nomenclatura y Simbología de Instrumentos en Campo y en Panel o Tablero.



# PRACTICA 1

## BALANZA DE PESOS MUERTOS



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS**Contenido de la práctica.**

- 1.1 Objetivo.
- 1.2 Síntesis de la teoría.
- 1.3 Equipo utilizado en la práctica.
- 1.4 Instructivo de operación de la práctica.
- 1.5 Tabla de datos experimentales.
- 1.6 Secuencia de cálculos.
- 1.7 Tabla de resultados y gráfica.
- 1.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).
- 1.9 Conclusiones.

**1.1 Objetivo.**

Determinar los errores de calibración que existen en un manómetro de Bourdon por medio del uso de la balanza de pesos muertos.

**1.2 Síntesis de la teoría.****Definición de Presión:**

Se define presión como la cantidad de fuerza normal que se ejerce sobre una unidad de área de alguna sustancia. Se habla de presión sólo cuando se trata de gas o líquido, mientras que la contraparte de la presión en los sólidos es el esfuerzo normal. Por lo tanto, la presión tiene las mismas unidades del esfuerzo. La tabla 1.1, muestra las unidades de la presión en el sistema internacional y el sistema inglés.

Tabla 1.1 Unidades de la Presión	
Unidades de la Presión Sistema Internacional (SI)	Unidades de la Presión Sistema Inglés (PSIA, PSIG)
Kgf/cm <sup>2</sup> Bar Pascal (Pa) 1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> 1 N = 1 kg-m/s <sup>2</sup> 1kgf = 9.81 Newton	1 Psi = 1lbf/in <sup>2</sup> (1 lbf/pulg <sup>2</sup> ) Psi (pounds per square inch)  1 Psf = 1lbf/ft <sup>2</sup> (1 lbf/pie <sup>2</sup> ) Psf (pounds per square foot)  psia (presión absoluta) psig (presión manométrica)

Blaise Pascal, científico francés del siglo XVII, describió dos principios importantes acerca de la presión:

- ✓ La presión actúa de modo uniforme en todas las direcciones de un volumen pequeño de fluido.
- ✓ En un fluido confinado por fronteras sólidas, la presión actúa de manera perpendicular a la pared.



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

Si se conoce la cantidad de fuerza que se ejerce sobre un área dada, es posible calcular la magnitud de la presión en un fluido.

Blaise Pascal (1623 -1662) **Filósofo, matemático y físico francés.** Aclaró los principios del barómetro, la prensa hidráulica y la transmisibilidad de la presión.

Pascal comprobó que dos cilindros hidráulicos de áreas diferentes podían ser conectados y que el cilindro más grande se podía usar para ejercer una fuerza proporcionalmente mayor que la aplicada al cilindro más pequeño. La “máquina de Pascal” ha sido la base de muchos inventos que forman parte de nuestra vida cotidiana, como los frenos de automóvil y los elevadores hidráulicos.

**Presión manométrica:**

Representa la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica local. Todos los medidores de presión, conocidos como manómetros en general, indican esta diferencia de presiones. Así, una presión manométrica de cero corresponde a una presión que es igual a la presión atmosférica local. La presión absoluta de un fluido se obtiene luego mediante la relación:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{manométrica}$$

**Principio de operación de un manómetro de tubo de Bourdon:**

El tubo de Bourdon, por lo general, presenta una sección transversal elíptica y una configuración en forma de C y se encuentra cerrado en uno de sus extremos; el otro extremo se conecta a la presión que va a ser medida.

Si a la entrada de dicho tubo se aplica una presión, entonces se presenta una deformación elástica (al existir una diferencia de presión entre el interior y el exterior del tubo, la presión mayor dentro, hace que el tubo trate de alcanzar una sección transversal circular) que idealmente es proporcional a la presión aplicada.

El grado de linealidad depende de la calidad del manómetro. Un extremo del tubo se conecta a un eslabonamiento cargado con resorte (un sistema de relojería) que, además de amplificar el desplazamiento, lo transforma en una rotación angular de la manecilla o aguja.

La aguja indica una presión de cero cuando las presiones interna y externa al tubo son iguales, sin importar su valor particular. La escala puede graduarse de acuerdo con un sistema de unidades conveniente, las más comunes son: kgf/cm<sup>2</sup> y lbf/pulg<sup>2</sup>. La figura 1.1, muestra las especificaciones un de manómetro tipo Bourdon.

El funcionamiento del tubo de Bourdon está basado en la Ley de Hooke (deformación proporcional a la fuerza aplicada).

El material empleado normalmente en el tubo de Bourdon es acero inoxidable, aleación de cobre, aleaciones especiales como hastelloy y monel.



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

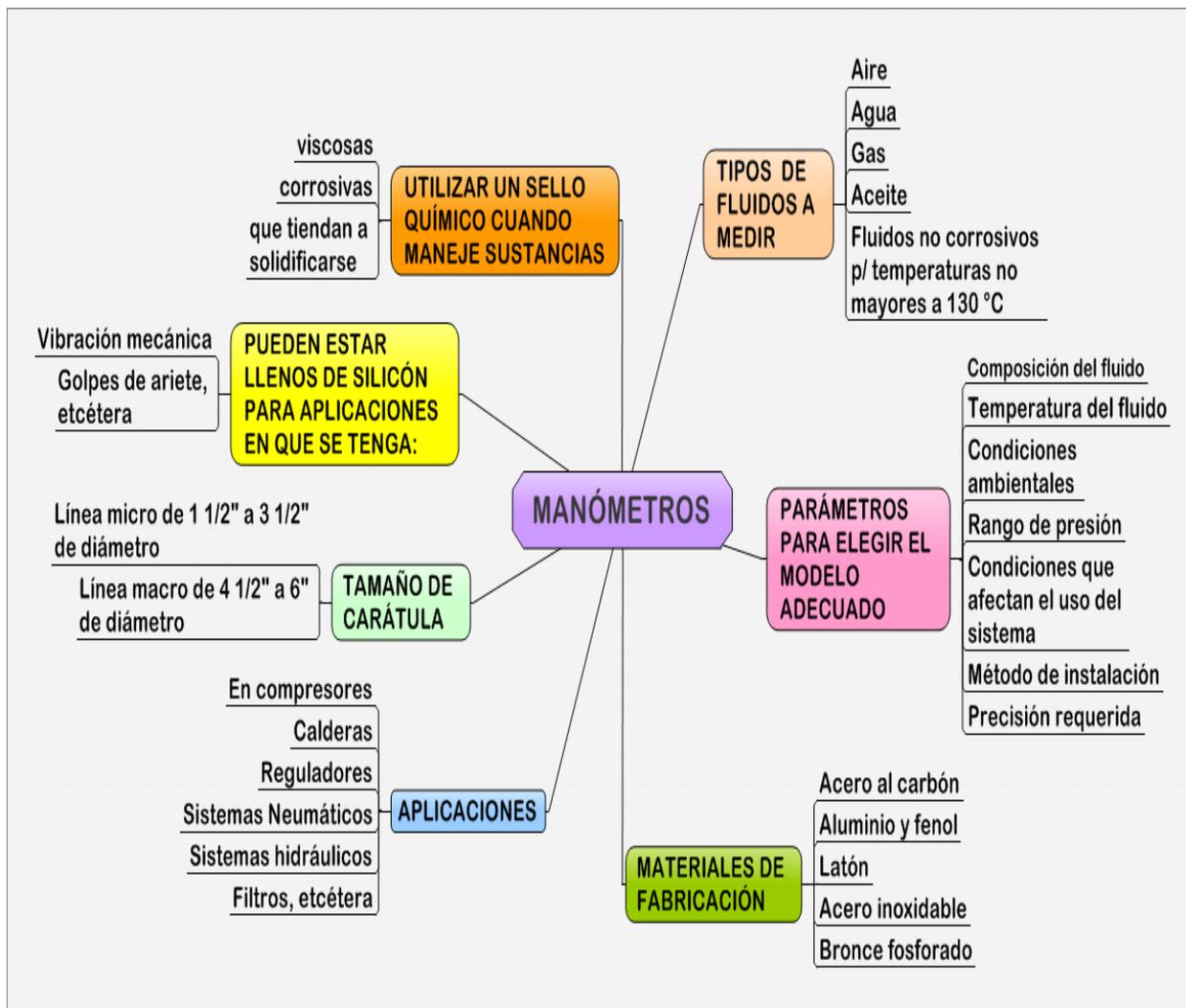


Figura 1.1. Especificaciones de un Manómetro Tipo Bourdon.

(DirectIndustry. Manómetro de tubo Bourdon.

<https://www.directindustry.es/prod/schmierer-gmbh/product-207535-210535-2105691.html>)

PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

El manómetro tubo llamado “de Bourdon” fue inventado por Eugenio Bourdon en París, quién lo patentó en 1849 y son los instrumentos de precisión más utilizados, siendo típicamente empleados para medir la presión en sistemas de bombeo, sistemas de refrigeración, compresores y líneas de aire comprimido, calderas y líneas de vapor, etcétera.

El manómetro de tubo de Bourdon tiene una gran variedad de aplicaciones esencialmente en aquellos casos donde se desea una medición barata de presión estática. Se ofrecen comercialmente en muchos tamaños (de 1 a 16 pulgadas de diámetro de carátula) y exactitudes, y están disponibles comercialmente para todas las presiones inferiores a la atmosférica y para niveles superiores a 700 MPa (aproximadamente 100 000 lbffin<sup>2</sup>).

**Prensa Hidráulica:**

La Prensa Hidráulica cuenta con dos cilindros llenos de agua o aceite que están comunicados entre sí; en cada uno se ajustan pistones de diferente área que están en contacto con el fluido. La figura 1.2, muestra la aplicación del principio de Pascal en una prensa hidráulica.

Según el científico francés Blaise Pascal en el siglo XVII, estableció que, al ejercer una fuerza sobre el pistón de menor área o sección, se origina una presión en el agua o aceite que se transmite de forma integral al resto del fluido y llega al otro pistón.

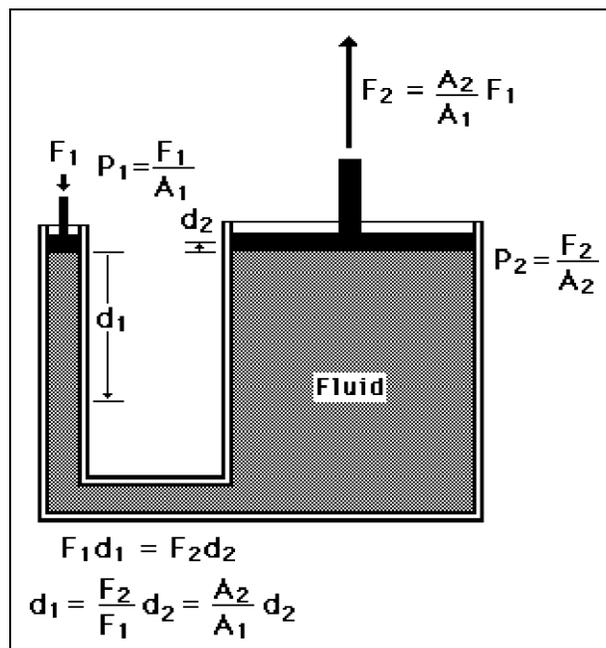


Figura 1.2. Aplicación del Principio de Pascal en una Prensa Hidráulica



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

(Thermal Engineering. (28 de mayo de 2024). Prensa Hidráulica | Funcionamiento, Aplicaciones en Formado y Moldeo. <https://www.thermal-engineering.org./es/prensa-hidraulica-funcionamiento-aplicaciones-en-formado-y-moldeo/>)

Es decir, la presión que se ejerce sobre un fluido que se encuentra contenido en un recipiente indeformable se transmite con idéntica intensidad en todos los puntos del fluido y en todas direcciones.

La presión es igual en todo el recipiente por lo que se puede calcular utilizando la fórmula:

$$P = F_1/A_1 = F_2/A_2$$

Si a un pistón dentro de un líquido se le aplica una fuerza, como se indica en la figura 1.2, esa fuerza soportará un peso ejercido, sobre un pistón de la misma superficie, esto es  $P_1 = P_2$ , es decir la presión de entrada es igual a la presión de salida.

La prensa hidráulica permite multiplicar fuerzas, obteniendo fuerzas grandes a partir de fuerzas pequeñas. Ésta clase de máquinas suele usarse para levantar cuerpos pesados como automóviles y camiones pesados.

**Balanza de Pesos Muertos:**

La Balanza de Pesos Muertos es un aparato patrón o estándar que funciona como la prensa hidráulica bajo el Principio de Pascal, sirve para calibrar manómetros mediante la fórmula:

$$F = P \times A$$

Donde;      F = Fuerza [=] kgf.  
                  P = Presión [=] kgf/cm<sup>2</sup>  
                  A = Área [=] cm<sup>2</sup>

Este aparato es un sistema de 2 vasos comunicantes, uno de los cuales se conecta al manómetro que se va a probar; el otro contiene un pistón que soporta un peso conocido cuya fuerza es igual a F, el área del pistón se denomina A, y como  $P = F / A$  se obtiene así la presión del manómetro. Los pesos ya tienen grabado en una de sus caras el valor de la presión. La figura 1.3, muestra las especificaciones de un tipo de Balanza de Pesos Muertos.

(WIKA. Balanza de Pesos Muertos.

[https://wika.com.mx/products\\_pressure\\_balances\\_es\\_es.WIKA#!](https://wika.com.mx/products_pressure_balances_es_es.WIKA#!))



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

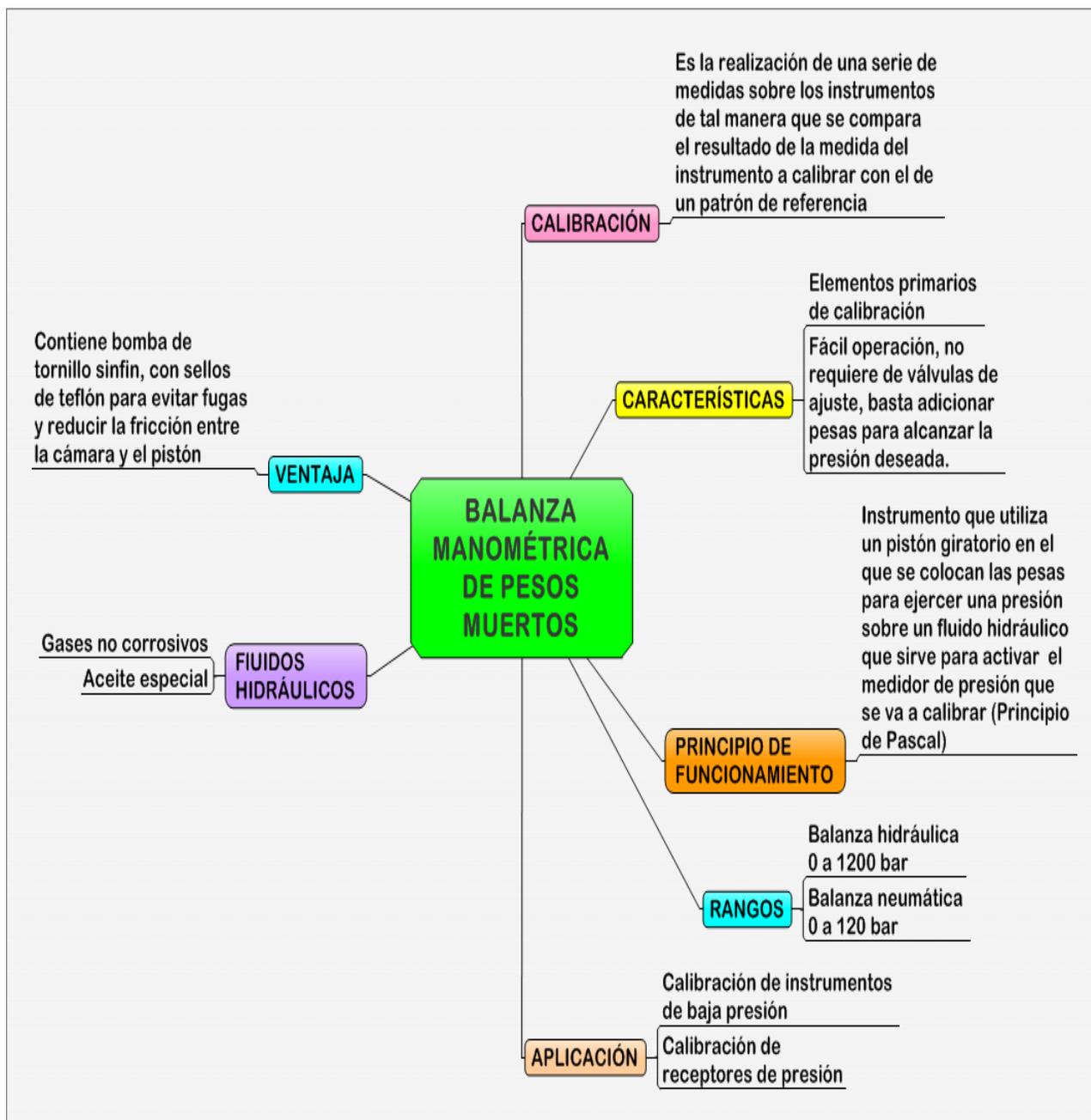
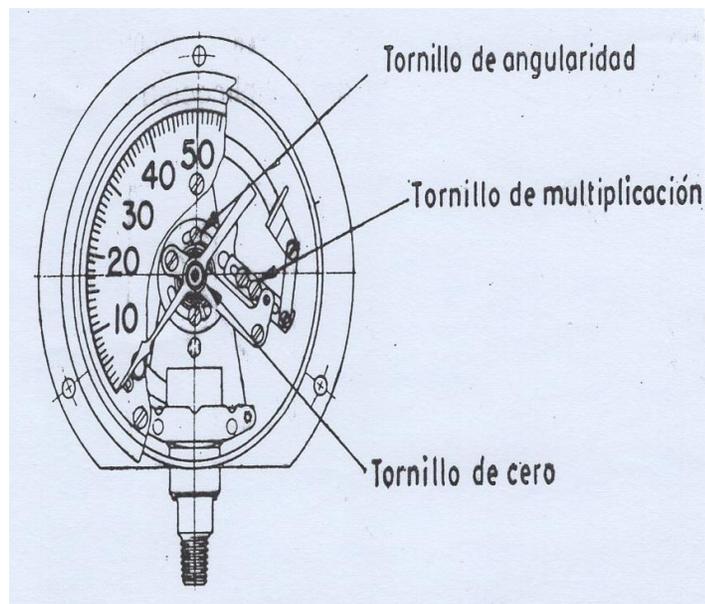


Figura 1.3. Especificaciones de un Tipo de Balanza de Pesos Muertos.



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

Al comparar la Presión ejercida por la Balanza de Pesos Muertos (Instrumento Patrón) con las lecturas de la Presión leídas en el en el Manómetro de tipo Bourdon se pueden encontrar Tres Tipos de Errores (Error de Cero, Error de Multiplicación y Error de Angularidad). Estos errores se pueden corregir ajustando ciertos tornillos en el manómetro. La figura 1.4, muestra los diferentes tornillos de ajuste de cero, multiplicación y angularidad en un manómetro Bourdon.



**Figura 1.4.** Tornillos de ajuste de cero, multiplicación y angularidad en un Manómetro Bourdon. (Creus, A. (2001). Instrumentación Industrial.)

**1) Error lineal o de cero.**

Es constante a lo largo de la escala. Ver figura 1.5

Todas las lecturas están desplazadas en un mismo valor con relación a la recta representativa de 45° (recta de calibración) del instrumento. Este error puede ser positivo o negativo. El punto de partida o base de la recta representativa cambia sin que varíe la inclinación o la forma de la curva.

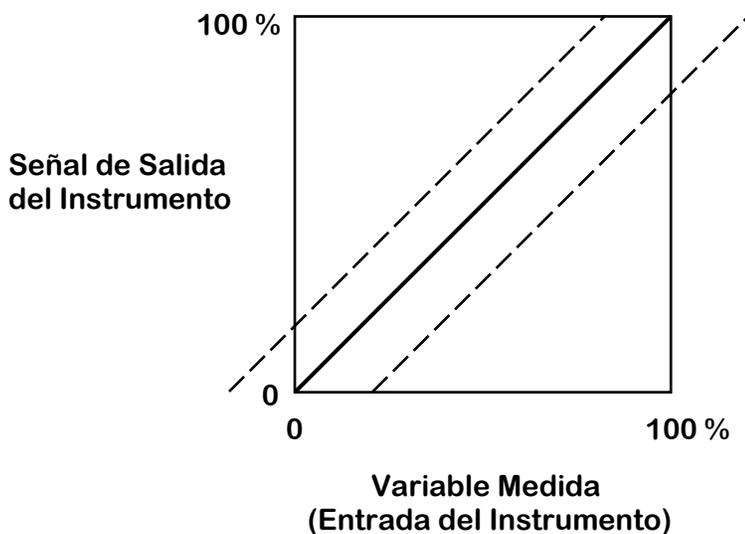
Se corrige: reposicionando el puntero.  
su fórmula es:

$$L_B = L_M + \text{Error}$$

Lectura en Balanza ( $L_B$ ) = Lectura en Manómetro ( $L_M$ ) + Error o Desviación



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS



**Figura 1.5. Error Lineal o de Cero.**

**2) Error de multiplicación o de suma.**

Aumenta o disminuye a lo largo de la escala. Ver figura 1.6

Todas las lecturas aumentan o disminuyen proporcionalmente con relación a la recta representativa de 45° (recta de calibración), se observa que el punto base no cambia y que la desviación progresiva puede ser positiva o negativa.

Se corrige ajustando la palanca con el tornillo deslizante.  
su fórmula es:

$$L_B = (L_M) \times (\text{Error o Desviación de multiplicación})$$

Lectura en Balanza = Lectura en Manómetro multiplicado por el Error o Desviación



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

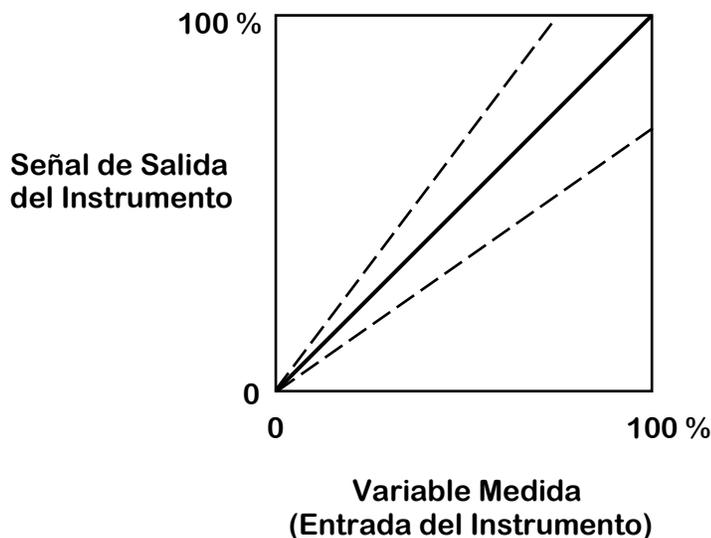


Figura 1.6. Error de Suma o Multiplicación.

1) **Error de angularidad o de linealidad.**

La salida del instrumento coincide en los puntos 0 % y 100 % de la recta de calibración, pero se aparta de la misma en los puntos restantes. La máxima desviación suele estar hacia la mitad de la escala. Ver figura 1.7

Se corrige variando la posición del mecanismo del movimiento o la longitud del eslabón, pero si es usado por fátiga del material del Tubo Bourdon, no se puede corregir.

Su fórmula es:

$$L_B = L_M (\text{ERROR o DESVIACIÓN DE ANGULARIDAD})$$

Lectura en Balanza = Lectura en Manómetro elevado al Error o Desviación

Donde;  $L_B$  = Lectura en Balanza de Pesos Muertos [=] kgf/cm<sup>2</sup>.

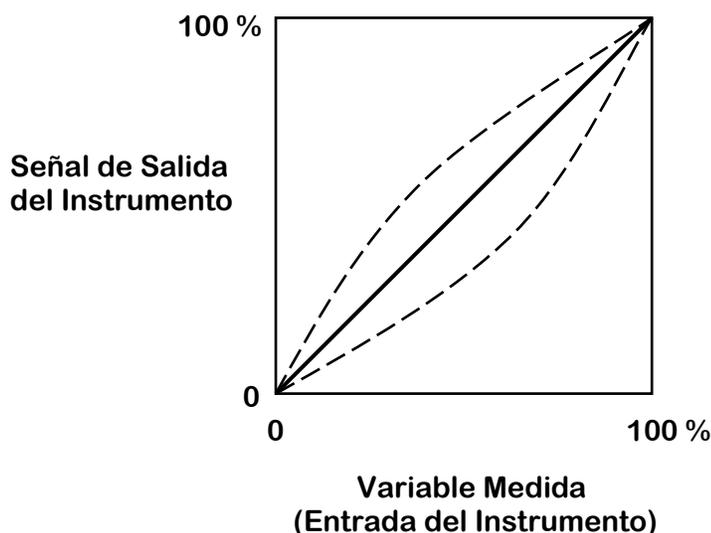
$L_M$  = Lectura en manómetro [=] kgf/cm<sup>2</sup>

Error o Desviación [=] kgf/cm<sup>2</sup>

Tipo de Error	Orden para corregir los errores
Lineal o de Cero	3°
Multiplicación (línea en ángulo ≠ a 45°)	2°
Angularidad (curva)	1°



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS



**Figura 1.7. Error de Angularidad.**

**Preguntas de Investigación:**

- 1) ¿Qué es, para qué sirve y cuáles son las partes de una balanza de pesos muertos?
- 2) ¿Qué tipos de balanza de pesos muertos hay?
- 3) ¿Cuáles son las características de una balanza de pesos muertos?
- 4) ¿En qué consiste el principio de Pascal y qué relación tiene con el funcionamiento de la balanza de pesos muertos?
- 5) ¿En qué consiste la calibración de un instrumento de medición (manómetro Bourdon)?
- 6) ¿Cuál es el principio de funcionamiento de los sensores de presión de tipo elástico?
- 7) ¿Qué tipos de sensores de presión de tipo elástico hay, y cuáles son los rangos de medición?
- 8) ¿De qué partes constan los diferentes sensores de presión de tipo elástico?
- 9) ¿En qué consiste y cómo se corrige físicamente el error lineal o de cero, el error de multiplicación o de suma y el error de angularidad o de linealidad al calibrar un sensor de presión (manómetro Bourdon)?
- 10) ¿Qué es el rango en medición?
- 11) ¿Qué es el span en medición?
- 12) ¿Qué es el error de histéresis o error de retorno en calibración y cómo se calcula?, complemente con al menos un ejemplo.
- 13) ¿Por qué algunos manómetros contienen glicerina?



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

**1.3 Equipo utilizado en la práctica.**

Balanza de Pesos muertos

Banco de pesas estandarizadas.

Manómetro con rango de 0 – 4 kgf/cm<sup>2</sup>

Manómetro con rango de 0 – 14 kgf/cm<sup>2</sup>

Aceite de transmisión

**1.4 Instructivo de operación de la Balanza de Pesos Muertos.**

- 1) Abrir el tanque de alimentación de aceite, girando la agarradera superior de color negro, y descansar la tapa en la boquilla del tanque.



- 2) Abrir lentamente y cuidadosamente la manivela hasta el tope (aproximadamente 20.5 vueltas). Nota: El tipo de rosca de la manivela, es milimétrica y el paso de la rosca mide 2.5 mm.





PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

- 3) Cerrar el tanque de alimentación de aceite, tomando la agarradera negra del tanque, procurando que la punta del tornillo embone en el fondo del tanque.



- 4) Quitar del puerto de purga y medición el tapón de color bronce con ayuda del tornillo de acero que está ubicado atrás del tanque de alimentación.



- 5) Una vez quitado el tapón quitar el empaque de plástico (O-Ring) y colocarlo en la boquilla donde se encontraba el tapón.





PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

- 6) Colocar el tapón en una de las bases que se localizan a los lados de la balanza de pesos muertos.



- 7) Cerrar lentamente manivela a fin de colocar aceite hasta el nivel del empaque y al mismo tiempo purgar el equipo (eliminar burbujas de aire).



- 8) Colocar el tapón de color bronce con ayuda del tornillo de acero que está ubicado atrás del tanque de alimentación y repetir pasos 1 al 7, hasta que ya no se observen burbujas de aire.

- 9) Colocar manómetro a calibrar insertando el cople o tornillo de acero donde se encuentra el empaque de plástico y enroscarlo completamente. Revisar que el manómetro a utilizar tenga tapón para que se pueda ensamblar en la balanza de pesos muertos.





PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

- 10) Conectar equipo a la toma de corriente eléctrica. Al momento de conectar verificar que la banda de la balanza tenga movimiento.



- 11) Girar manivela a la derecha hasta observar la plataforma flotante y revisar que la cara superior de guía quede en contacto con la cara inferior de la plataforma flotante.



- 12) Registrar lectura en la tabla de datos experimentales:

Nota: La lectura de la balanza =  $0.2 \text{ kgf/cm}^2$

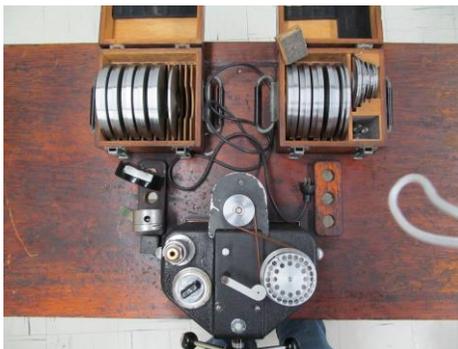
- 13) Girar manivela a la izquierda para quitar toda la presión (hasta dejar de observar la plataforma flotante) y con ello proteger la balanza de pesos muertos.  
14) Agregar más pesas y repetir pasos 11 y 12 para lecturas restantes.





PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

15) Una vez terminadas las lecturas quitar las pesas y guardarlas en su lugar.



16) Abrir manivela totalmente a fin de quitar toda la carga.



17) Desconectar el equipo de la corriente eléctrica.

18) Desenroscar el cople y quitar el manómetro, cuidando dejar el empaque de plástico (O-Ring) en su lugar.

19) Colocar el tapón de color bronce con ayuda del tornillo de acero (cople) en el puerto de purga y medición como se encontraba originalmente.





PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

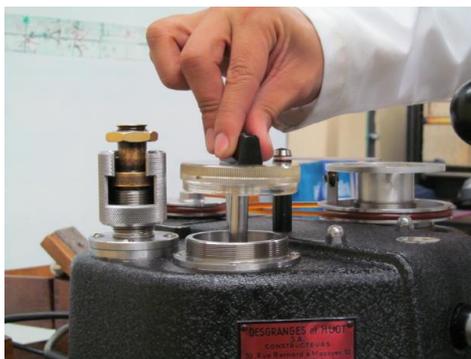
20) Abrir el tanque de alimentación de aceite con la agarradera negra y dejar descansar la tapa en la boquilla del tanque.



21) Cerrar suavemente la manivela hasta el tope, para regresar el aceite al tanque de alimentación.



22) Cerrar el tanque de alimentación de aceite, tomando la agarradera negra del tanque, procurando que la punta del tornillo embone en el fondo del tanque.





PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

1.5 Tabla de datos experimentales.

Tabla de Datos Experimentales Balanza de Pesos Muertos			
		Lecturas en Forma Ascendente	Lecturas en Forma Descendente
	Lectura en Balanza Kg/cm <sup>2</sup>	Lectura en Manómetro a calibrar Kg/cm <sup>2</sup>	Lectura en Manómetro a calibrar Kg/cm <sup>2</sup>
1)	0.2		
2)			
3)			
4)			
5)			
6)			

1.6 Secuencia de cálculos.

- 1) Calcular el Error o desviación para cada lectura en forma ascendente y en forma descendente.

Error = Valor leído o transmitido por el instrumento – Valor real de la variable medida

- 2) Calcular el Rango del instrumento utilizado en el experimento.  
Rango = Valor inferior de la escala del instrumento al valor superior de la escala del instrumento.

- 3) Calcular el SPAN o Alcance del instrumento utilizado en el experimento.  
Span = Valor superior del rango del instrumento – Valor inferior del rango del instrumento



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

- 4) Calcular el Error de Multiplicación para cada lectura.

$$\text{Error de multiplicación} = \frac{\text{Valor real de la variable medida}}{\text{Valor leído o transmitido por el instrumento}}$$

- 5) Calcular el Error de Histéresis del instrumento utilizado en el experimento, para cada lectura.

$$\% \text{ Histéresis} = \frac{(\text{Valor medido de forma ascendente} - \text{Valor medido de forma descendente})}{\text{SPAN}} \times 100$$

- 6) Señalar en una imagen o foto de un manómetro, cuales son los tornillos que sirven para corregir el error de cero, el error multiplicación y el error de angularidad.



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

1.7 Tabla de resultados y gráfica.

Tabla 1 de Resultados Balanza de Pesos Muertos			
		Error o Desviación	Error o Desviación
	Lectura en Balanza Kg/cm <sup>2</sup>	En Forma Ascendente $L_M - L_B$ Kg/cm <sup>2</sup>	En Forma Descendente $L_M - L_B$ Kg/cm <sup>2</sup>
1)			
2)			
3)			
4)			
5)			
6)			

Tabla 2 de Resultados Balanza de Pesos Muertos			
		Error de Multiplicación	Error de Histéresis
	Lectura en Balanza Kg/cm <sup>2</sup>	$\frac{L_B}{L_M}$	
1)			
2)			
3)			
4)			
5)			
6)			

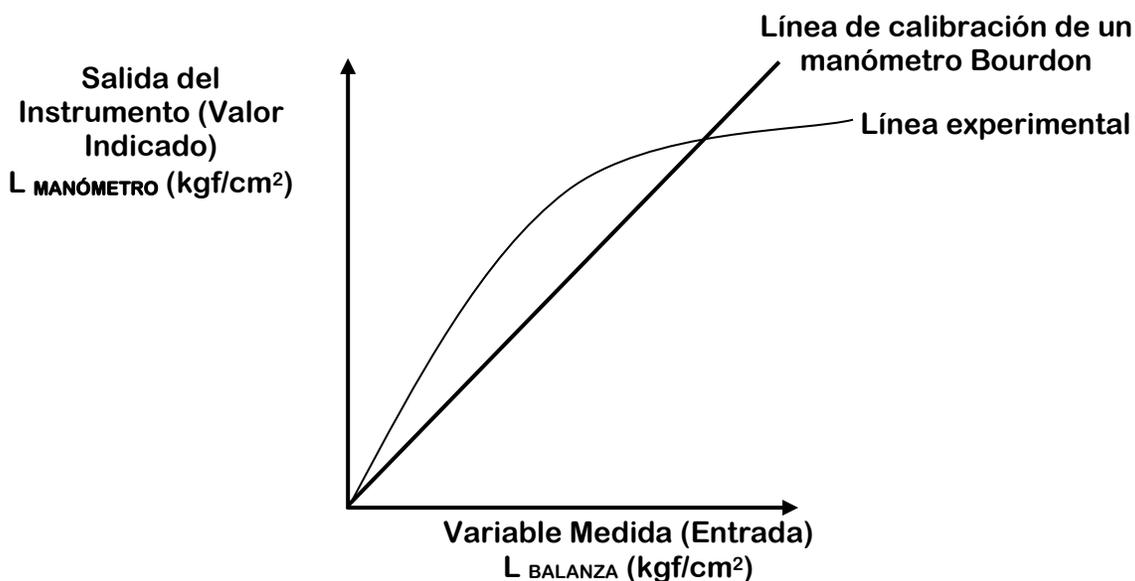
Manómetro Bourdon	
Rango del instrumento	
SPAN O Alcance	



PRACTICA 1.  
BALANZA DE PESOS MUERTOS

**Elaboración de la gráfica.**

- 1) Registrar en el eje de las "X" la Variable Medida (Entrada) o Valor Real de la Variable Medida (Lectura en Balanza de Pesos Muertos).
- 2) Registrar en el eje de las "Y" el Valor de Salida del Instrumento o Valor Indicado (Lectura en el manómetro a calibrar).
- 3) Trazar la respuesta ideal que es una línea recta de 45 ° que va del 0 al 100 %.
- 4) Señalar en la gráfica los errores encontrados en el manómetro utilizado en el experimento (error de cero, error de multiplicación y/o el error de angularidad).



**1.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).**

**1.9 Conclusiones.**

# PRACTICA 2

## TRANSMISORES





## PRACTICA 2. TRANSMISORES

### Contenido de la práctica.

- 2.1 Objetivo.
- 2.2 Síntesis de la teoría.
- 2.3 Equipo utilizado en la práctica.
- 2.4 Instructivo de operación de la práctica.
- 2.5 Tabla de datos experimentales.
- 2.6 Secuencia de cálculos.
- 2.7 Tabla de resultados y gráfica.
- 2.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).
- 2.9 Conclusiones

### 2.1 Objetivo.

Determinar el tipo de error de los transmisores dependiendo si es de tipo neumático o eléctrico y si es necesario ajustarlos.

### 2.2 Síntesis de la Teoría.

#### Transmisores.

Los transmisores captan la variable de proceso a través del elemento primario o sensor y la transmiten a distancia en forma de neumática, electrónica, digital, óptica, hidráulica o por radio, hacia un dispositivo receptor (indicador, registrador y/o controlador).

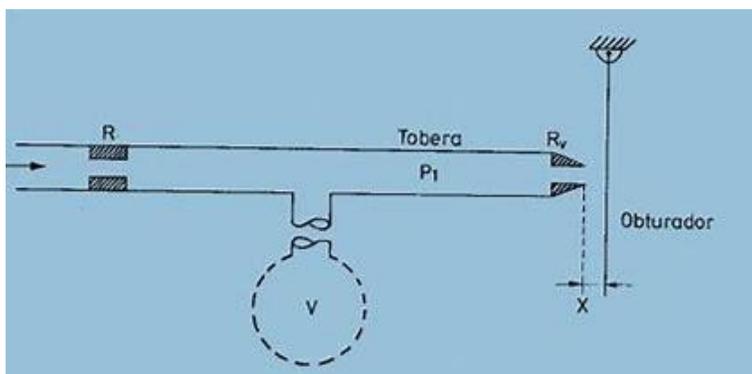
Los transmisores se pueden dividir de acuerdo al tipo de señal de transmisión en:

- ✓ Transmisores neumáticos
- ✓ Transmisores electrónicos
- ✓ Transmisores inteligentes con señal de salida de 4 a 20 mA
- ✓ Transmisores digitales.

#### Transmisores Neumáticos (Principio de Funcionamiento).

Un transmisor neumático se compone básicamente de:

- 1) Un elemento primario de medición (Tobera).
- 2) Un amplificador (relay) de salida.
- 3) Un fuelle de retroalimentación.



**Figura 2.1.** Base del Funcionamiento de los Transmisores Neumáticos.  
(Creus, A. (2011). Instrumentación Industrial.)



PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

Los transmisores neumáticos se basan en el sistema tobera-obturador (figura 2.1) que, mediante bloques amplificadores con retroalimentación por equilibrio de movimientos o de fuerzas, convierte el movimiento del elemento primario de medición a una señal neumática de 3-15 psi (libras por pulgada cuadrada).

Los transmisores neumáticos, al tener el diámetro de la tobera muy pequeño, del orden de 0.1 a 0.2 mm, son susceptibles de mal funcionamiento debido a las partículas de aceite o polvo que pueden tapan la tobera. La figura 2.2, muestra el principio de funcionamiento de un transmisor neumático de presión diferencial.

Transmisor  
Neumático de  
presión diferencial

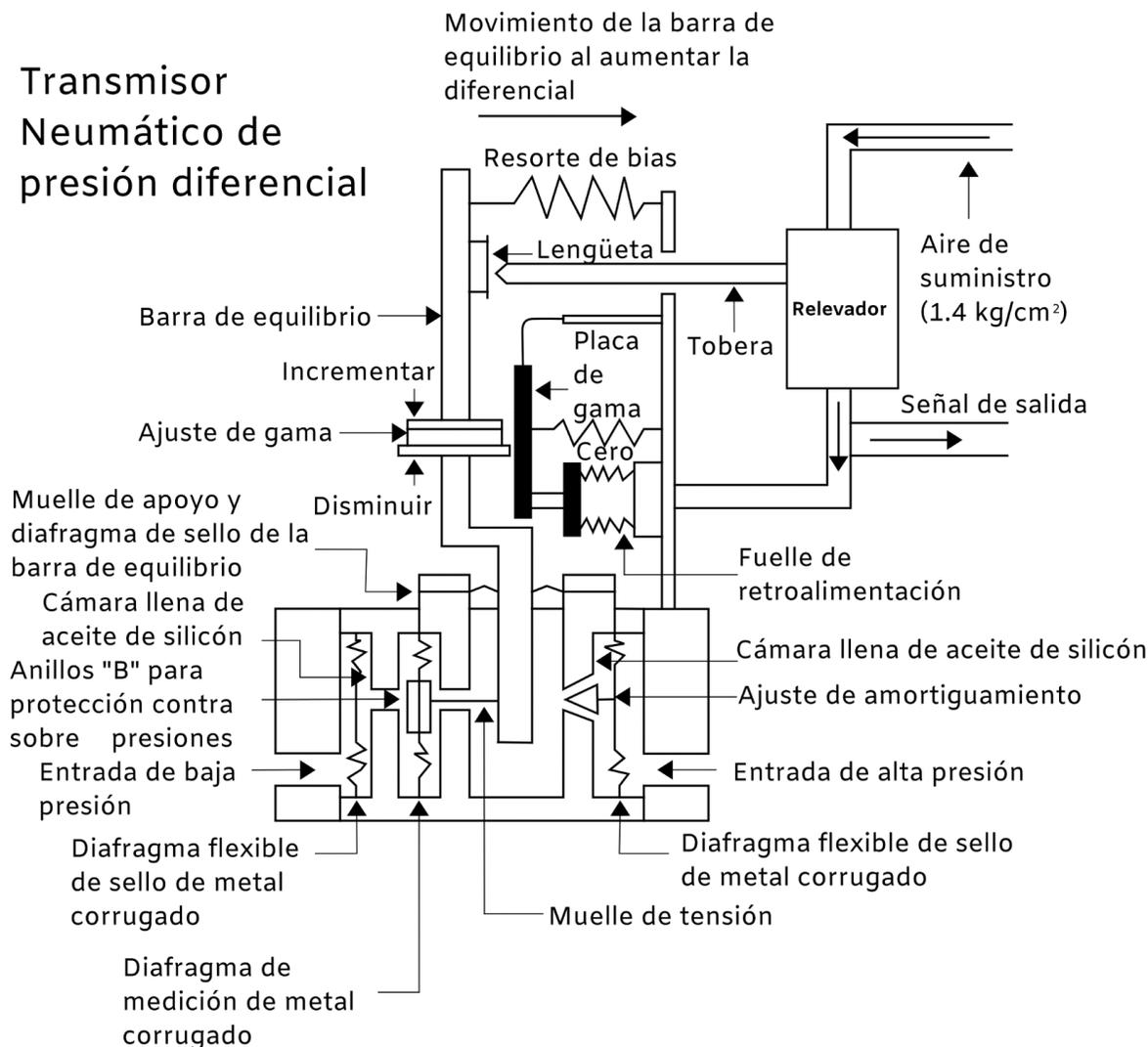
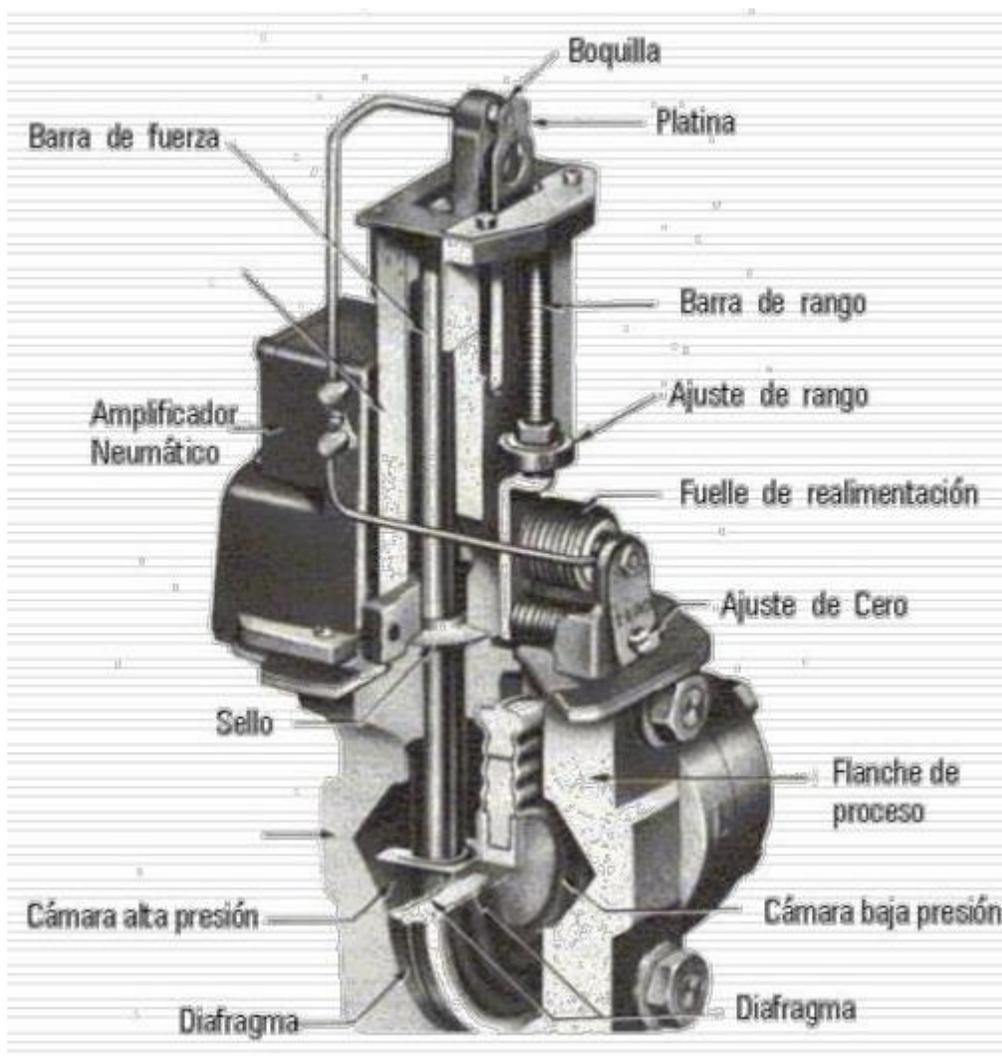


Figura 2.2. Principio Funcionamiento de un Transmisor Neumáticos de Presión Diferencial. (Díaz, R. (1999). Laboratorio de Instrumentación y Control.)

PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

La figura 2.3, muestra las partes de un transmisor neumático de presión diferencial o diferencial de presión.



**Figura 2.3** Partes de un Transmisor Neumático de Diferencial de Presión.



### **Principio de Funcionamiento del Transmisor Neumático de Presión Diferencial (figura 2.2).**

- 1) Cuando se detecta una diferencia de presión, en el diafragma de metal corrugado central o de medición.
- 2) Se crea una tensión o fuerza en la parte inferior de la barra de fuerza (se mueven hacia la izquierda los 3 diafragmas),
- 3) Con lo que se puede suponer que la presión en la parte superior se incrementa al generar un movimiento en el extremo de la barra de fuerza o barra de equilibrio.
- 4) Ocasionando que se cierre el escape de la tobera (o boquilla) por el movimiento resultante en el extremo externo de la barra de fuerza y chocar con el obturador (lengueta o platina),
- 5) Debido a esto, se aumenta la señal de salida en el relevador (amplificador neumático),
- 6) Y con ello se incrementa la fuerza que se ejerce sobre la barra de rango o barra de equilibrio mediante el fuelle de retroalimentación,
- 7) Ésta fuerza se opone a la fuerza de los 3 diafragmas, haciendo que el obturador (lengueta o platina) se aleje de la tobera (o boquilla).
- 8) Disminuye la presión de salida del relevador (amplificador neumático).
- 9) Con esta fuerza se balancea la fuerza del diferencial de presión presente en el diafragma central o de medición;
- 10) Del balance de estas fuerzas resulta la señal de salida del transmisor, la cual es proporcional a la diferencia de presión.
- 11) Es decir, la presión de salida será igual a la presión diferencial.

El suministro de presión que se recomienda para la mayoría de los instrumentos neumáticos es entre 20 y 25 psig, ya que con éste se asegura el funcionamiento adecuado con un nivel de salida de 15 psig.

Para calibrar estos instrumentos se requiere ajustar el cero y el ajuste de rango o ajuste de gama; esto se hace mediante un tornillo externo de ajuste a cero y con la rodaja de rango.

### **Transmisores Electrónicos de Equilibrio de Fuerzas.**

Basados en detectores, o utilizando transformadores diferenciales o circuitos de puente de Wheatstone, o empleando una barra de equilibrio de fuerzas, convierten la señal electrónica de 4 a 20 mA c.c.

En la figura 2.4, se muestra un transmisor de nivel electrónico de presión diferencial. Y en la figura 2.5, se muestra el diagrama simplificado de un transmisor electrónico de diferencial de presión.



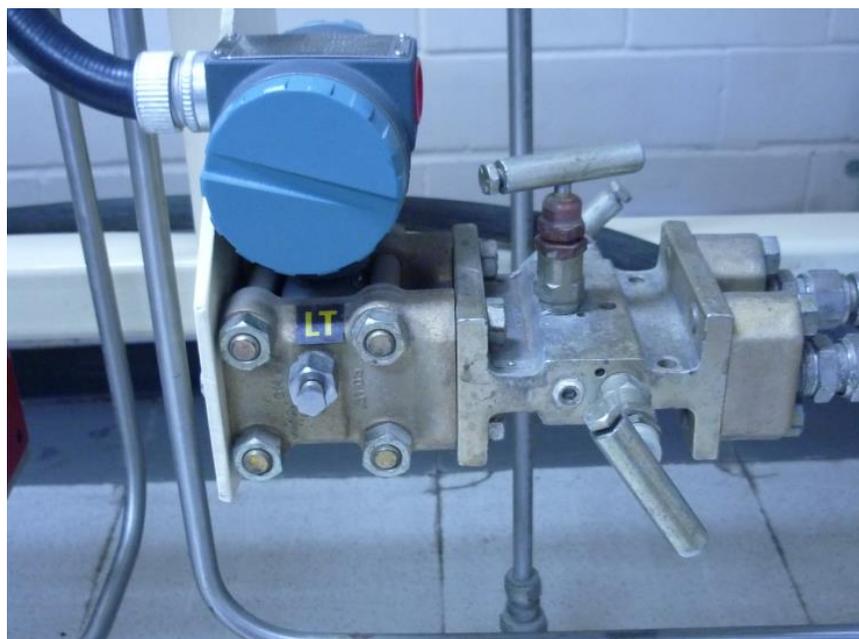
PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

Los transmisores electrónicos son generalmente de equilibrio de fuerzas, consisten en su forma más sencilla en una barra rígida (figura 2.5) apoyada en un punto sobre la que actúan dos fuerzas en equilibrio:

- La fuerza ejercida por el elemento mecánico de medición (tubo bourdon, espiral, fuelle, diafragma, etcétera),
- La fuerza electromagnética de una unidad magnética (amplificador de entrada).

El desequilibrio entre estas dos fuerzas da lugar a una variación de posición relativa de la barra, excitando un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia o un transformador diferencial. Un circuito oscilador (unidad de fuerza de patrón de deformación), asociado con cualquiera de estos detectores alimenta una unidad magnética (amplificador de entrada) y la fuerza generada reposiciona la barra de equilibrio de fuerzas. Se completa así, un circuito de realimentación variando la corriente de salida del en forma proporcional al intervalo de la variable del proceso.

Estos instrumentos, debido a su constitución mecánica, presentan un ajuste del cero y del alcance complicado, y una alta sensibilidad a vibraciones. Su precisión es del orden del 0.5 – 1 %.



**Figura 2.4.** Transmisor de nivel electrónico de presión diferencial.



PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

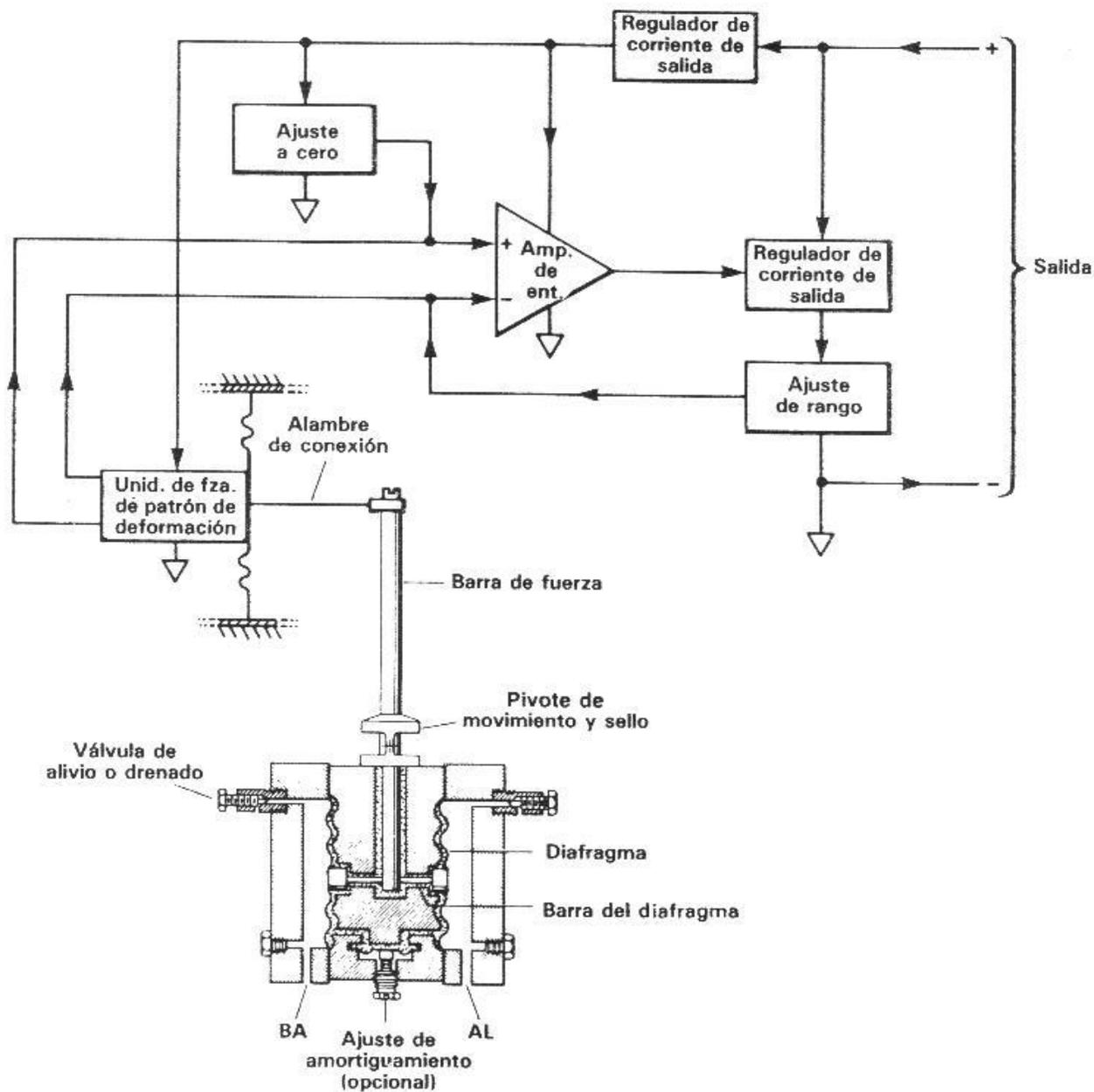


Figura 2.5. Diagrama simplificado de un Transmisor electrónico de Diferencial de Presión.



### **Transmisores Digitales.**

La señal del proceso es muestreada a una frecuencia mayor que el doble del de la señal (teorema de muestreo de Nyquist-Shannon) y de este modo, la señal digital obtenida consiste en una serie de impulsos en forma de bits.

Cada bit consiste en dos signos, el 0 y el 1 (código binario), y representa el paso (1) o no (0) de una señal a través de un conductor. Si la señal digital que maneja el microprocesador del transmisor es de 8 bits entonces puedes enviar 8 señales binarias (0 y 1) simultáneamente.

Con la aparición de la señal digital aplicable a los transmisores, mejoró notablemente la exactitud conseguida en la medida.

### **Transmisores Inteligentes.**

El término “inteligente” (Smart) indica que el instrumento es capaz de realizar funciones adicionales a la de la simple transmisión de la señal del proceso. Estas funciones pueden ser:

- ✓ Generación de señales digitales.
- ✓ Comunicabilidad.
- ✓ Uso de otros sensores tales como de presión y temperatura para compensar las variaciones del fluido y conseguir una mayor exactitud.
- ✓ Cambio fácil de rangos. La “inteligencia” se aplica también a otras variables, tal como la temperatura donde el transmisor puede trabajar con distintas sondas de resistencia y termopares y diversos campos de medida, gracias a la linealización de las escalas y a la compensación de la unión fría que aporta el microprocesador.

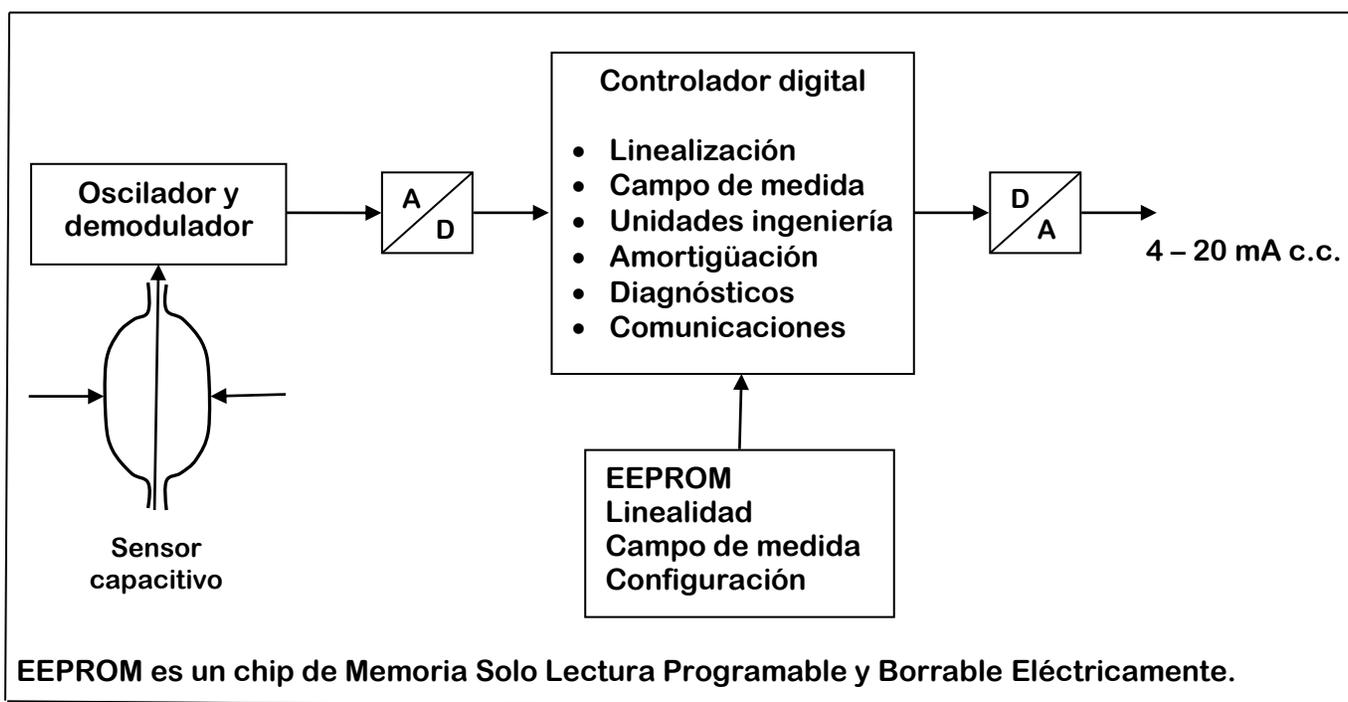
El transmisor con señal de salida enteramente digital de Honeywell, apareció en el año 1986, proporcionó un aumento de la exactitud del lazo de control del orden del 0.75 %, al eliminar los convertidores A/D (analógico-digital) del transmisor y el D/A (digital-analógico) del receptor (indicador, registrador o controlador). El término “Smart” no puede aplicarse al transmisor que sólo posee comunicabilidad digital (mediante un convertidor A/D), pero carece de funciones adicionales tales como corrección automática de la presión y temperatura del fluido del proceso.

En los instrumentos inteligentes, de salida electrónica o digital, en particular en los transmisores, la calibración se ve facilitada por la “inteligencia” proporcionada por el microprocesador incorporado en el instrumento. Este guarda digitalmente en una EPROM (es un chip de memoria ROM programable y no volátil, que puede ser borrada y reprogramada mediante una fuente de luz ultravioleta), los datos que proporcionan correcciones precisas de las no linealidades de los sensores ante las variaciones en la temperatura y en la presión ambiente. Un comunicador portátil dotado de visualizador de cristal líquido y teclado alfanumérico que permite comprobar desde el propio transmisor o bien desde el controlador, o desde cualquier punto de la línea de conexión el estado y calibración del transmisor.



### Transmisores Inteligentes Capacitivos.

El sensor capacitivo está basado en la variación de capacidad que se produce, en un condensador formado por dos placas fijas y un diafragma sensible interno y unido a las mismas, cuando se les aplica una presión o presión diferencial a través de dos diafragmas externos. La transmisión de la presión del proceso se realiza a través de un fluido (aceite) que rellena el interior del condensador. El desplazamiento del diafragma sensible es de sólo 0.1 mm como máximo. Un circuito formado por un oscilador y demodulador transforma la variación de capacidad en señal analógica. Ésta, a su vez, es convertida a digital y pasa después a un microprocesador “inteligente” que la transforma a la señal analógica de 4-20 mA c.c. y alimenta las comunicaciones digitales. Ver figuras 2.6a y 2.6b (Creus, Antonio (2011). Instrumentación Industrial.)



**Figura 2.6a.** Transmisor Inteligente Capacitivo.

Los transmisores envían señales proporcionales a las variables que se están midiendo; internacionalmente se han escogido ciertos rangos para este fin, ver tabla 2.1.

La razón de estandarizar los rangos de las señales de salida de los transmisores es poder interconectar instrumentos de diversas marcas y uniformar los receptores. Esto permite a los receptores recibir señales de cualquier variable, sin importar el rango de esas variables, puesto que todos los transmisores tienen salidas estándar. A continuación, se muestran partes específicas de un transmisor neumático (figuras 2.7 a 2.10).

PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

Figura 2.6b. Transmisor Inteligente.

Tipo	Medio	Valores
Binario On-off	Corriente alterna (c.a)	0 a 120 volts
	Corriente directa (c.c)	0 a 24, 48, o 125 volts
	Neumático	0 a 25, 35, 100 lbf/pulg <sup>2</sup> (psig) (170, 240, 700 kilopascales)
	Hidráulico	0 a 3000 psig (20,000 kilopascales)
Análoga (modulando)	Corriente directa (corriente continua)	- 10 a + 10 volts, 1 a 5 volts 1 a 5 miliamperes 4 a 20 miliamperes 10 a 50 miliamperes
	Neumático	3 a 15 psig (21 a 105 kilopascales) 6 a 30 psig (42 a 210 kilopascales)
	Hidráulico	0 a 3000 psig (0 a 20,000 kilopascales)

Tabla 2.1. Tipos, Medios y Rangos de Valores de Señales Típicos del Sistema de Transmisión.

PRACTICA 2.  
TRANSMISORES



**Figura 2.7.** Ajuste de Elevación o Supresión del Transmisor Neumático (Tornillo que interconecta Resorte de Bias y la Barra de Equilibrio o Barra de Fuerza).



**Figura 2.8.** Cara lateral del Transmisor Neumático (Diafragma de Baja Presión, Barra de Equilibrio y Rodaja del Ajuste de Rango o Ajuste de Gama)



PRACTICA 2.  
TRANSMISORES



**Figura 2.9.** Ajuste de Rango (Escala 2.5 a 25 pulgadas de agua)



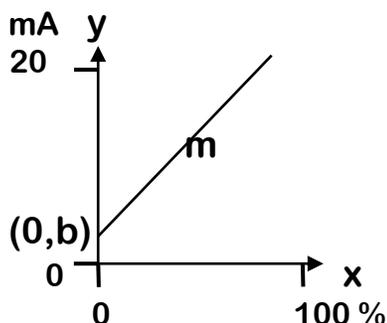
**Figura 2.10.** Cara frontal del Transmisor Neumático. Suministro de Aire (SUP) de 20 lbf/pulg<sup>2</sup> y Señal de Salida de aire (OUT) del transmisor de 3 a 15 lbf/pulg<sup>2</sup>. También se tiene el Fuelle de Retroalimentación.

PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

**Aplicación de la Ecuación de una Línea Recta en el cálculo de la señal de salida del transmisor o del valor de la variable de proceso.**

Una señal de salida de un instrumento transmisor de 4 a 20 mA, representa en forma proporcional, un valor de la variable de proceso dentro de una escala de 0 a 100 %. Lo cual se expresa directamente con la ecuación de una línea recta, como se muestra a continuación.

$$y = mx + b$$



Las coordenadas (0, b) es el punto donde la recta CORTA o INTERSECTA al eje “y”

En donde:

**y** = Señal de salida del instrumento transmisor (de 4 mA – 20 mA)

**X** = Entrada del instrumento correspondiente a la variable de proceso PV (Nivel de 0 – 100 %)

**m** = Pendiente de la recta (a 45 ° la pendiente vale 1)

**b** = El número “b” se llama la ordenada en el origen.

La ordenada en el origen se obtiene haciendo siempre **X** = 0 en la ecuación.

En éste caso la señal de salida del instrumento transmisor es (4 mA)

Una vez que se determinan los valores adecuados para **m** y **b**, se pueden determinar los valores de “x” ó los de “y”.

Se puede determinar el valor de la señal de salida del transmisor (**y**), correspondiente a una posición del vástago de una válvula de control (**X**) o viceversa.

Se puede determinar el valor de la pendiente (**m**)

**m** = (Valor máximo de la señal de salida del transmisor – Valor mínimo de la señal de salida del transmisor) / (Valor máximo del rango de la variable de proceso – Valor mínimo de la variable de proceso).



PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

$$m = (20 \text{ mA} - 4 \text{ mA}) / (100 \% - 0 \%)$$

$$m = 16 \text{ mA}/100 \%$$

$$m = 0.16$$

Sustituyendo en la ecuación de la recta se tiene:

$$y = mx + b$$

$$y = (0.16) x + b$$

Por ejemplo, si tenemos un nivel (x) en el tanque del 60 %, podemos calcular con la ecuación de la recta, el valor de la corriente (y) que es la señal de salida del transmisor de nivel.

$$y = mx + b$$

$$y = (0.16) 60 \% + 4 \text{ mA}$$

$$y = 9.6 \text{ mA} + 4 \text{ mA}$$

$$y = 13.6 \text{ mA}$$

Por lo tanto, el 50 % de nivel en el tanque es equivalente a 12 mA de la señal de salida del transmisor con rango de 4 a 20 mA.

<b>x</b>	<b>y</b>
Variable de Proceso Nivel PV %	Señal de Salida del Instrumento Transmisor mA
60	13.6



PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

**Preguntas de Investigación:**

- 1) ¿Qué son y cómo funcionan los transmisores de tipo neumático?
- 2) ¿De qué partes constan los transmisores de tipo neumático?
- 3) ¿Cuáles son las características y los rangos de operación de los transmisores neumáticos y de los transmisores eléctricos?
- 4) ¿Cuáles son los diferentes tipos señales de los transmisores y cómo se representan de acuerdo a la Norma ISA?
- 5) ¿A qué tipo instrumentos son enviadas las señales transmitidas por los transmisores?
- 6) ¿En qué consiste y cómo se corrige físicamente el error lineal o de cero al calibrar un transmisor neumático?
- 7) ¿En qué consiste y cómo se corrige físicamente el error de multiplicación o de span al calibrar un transmisor neumático?
- 8) ¿Qué diferencia hay entre un detector (sensor o elemento primario de medición) y un transmisor?
- 9) ¿Cómo se identifica un sensor de nivel y un transmisor de nivel, los cuales están en campo, de acuerdo a la Norma ISA?
- 10) ¿Cuáles son los 5 instrumentos que conforman un circuito de control, elabore el diagrama de bloques de un circuito de control cerrado?
- 11) ¿Qué diferencia hay entre un transmisor ciego y un transmisor no ciego?
- 12) Elabore una tabla con los diferentes rangos de señal típicos del sistema de transmisión (Tipo, medio y valores)

**2.3 Equipo Utilizado en la Práctica.**

Simulador Neumático MECI

Equipo Multilazo IMEPI (capacidad del tanque de medición 280 litros)

Compresor de aire

Transmisor de nivel neumático



PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

**2.4 Instructivo de operación de la práctica.**

**A) En Simulador Neumático MECI.**

- 1) Poner en servicio el compresor. Revisar previamente el nivel de aceite.
- 2) Abrir totalmente la válvula de compuerta de alimentación de aire al equipo que se encuentra atrás del tablero de control.



- 3) Verificar que la presión indicada en el segundo manómetro sea de 1.4 kgf/cm<sup>2</sup>, de lo contrario regularla con la válvula reductora de presión.



- 4) Ajustar la posición de abertura de la válvula de control manual manejando la perilla del HIC, en posición abierta. Donde se encuentra la letra A es abierta y donde está la letra C está cerrada la válvula, (el puntero del HIC debe marcar cero).



PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

- 5) Accionar interruptor de la bomba para alimentar agua al tanque de medición, el cual está localizado en la parte posterior del tanque de alimentación.



- 6) Cerrar válvula de nivel (válvula de reflujo) permitiendo que el nivel de agua suba al tanque de medición.



- 7) Cuando el nivel del tanque de medición esté ligeramente arriba de 50 cm desactivar interruptor de la bomba de agua, simultáneamente cerrar la válvula de control manual manejando la perilla del HIC (el puntero del HIC debe marcar 10).





PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

- 8) Abrir ligeramente la válvula de reflujo, para mantener el nivel del agua a 50 cm.



- 9) Tomar lectura en el LI con el puntero rojo del instrumento receptor, escala de 0 a 100 %.



- 10) Descargar parcialmente el tanque de medición con la válvula de paso y tomar lecturas en LI para el resto de los datos (45 cm, 40 cm, 35 cm, 30 cm, 25 cm, 20 cm, 15 cm, 10 cm, 5 cm y cero respectivamente).





PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

- 11) Una vez terminadas las lecturas cerrar válvula de compuerta para quitar el suministro de aire al sistema.



**B) En Equipo de Multilazo IMEPI (Instructivo de operación)**

- 1) Poner en servicio el compresor de aire. Revisar previamente el nivel de aceite.
- 2) Purgar o drenar el agua condensada acumulada dentro del compresor (abrir un poco la válvula de compuerta VC1). Con el objeto de obtener un aire más limpio a la salida del compresor.



- 3) Abrir válvula de bola VB1 o válvula de paso (girar hacia la izquierda).





PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

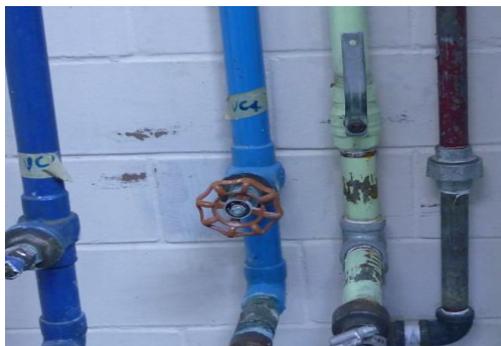
4) Accionar botón verde.



5) Accionar 3 interruptores (los de arriba y los de abajo). Desplazándolos hacia la derecha.



6) Abrir válvula principal de suministro de aire, ubicada en la pared del lado derecho del compresor (válvula de bola de tubería verde, girar hacia arriba) y accionar interruptor principal (desplazar hacia arriba).





PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

- 7) Accionar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo, ubicados en la parte trasera del equipo Multilazo.



- 8) Abrir válvula de bola de tubería blanca para el suministro de aire al equipo, verificar que la presión no sea menor a 90 psig.



- 9) Revisar que las válvulas manuales para drenar los tanques estén cerradas.  
10) Verificar en el tablero de control que el selector esté en la posición de “PLC”, cuando el control del sistema se realice con el Controlador Lógico Programable y con la estación del software Aurora HMI SCADA. Y el Selector de la variable de proceso esté en Nivel “L”



- 11) Desactivar el botón Paro de Emergencia (PE). Jalar el botón hacia uno.



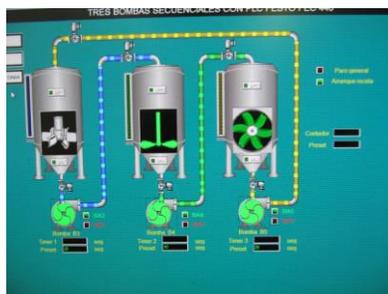


PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

- 12) Oprimir el Botón de Encendido para energizar el tablero de control. Si se escucha un ruido es la alarma, oprimir botón REC AL (Reconoce Alarma), que está en el Tablero de Control, para desactivar la alarma, o también se puede hacer en la pantalla de la computadora en el cuadro que dice Reconoce Alarma Sonora.



- 13) Encender computadora y esperar.  
14) Dar doble clic en el Programa Aurora HMI SCADA.  
15) Aparece cuadro que dice: Select Directory dar clic en Cerrar.  
16) Dar clic en PRINCIPAL, y seleccionar la primera opción en PROYECTOS RECIENTES.  
17) Aparece en la pantalla de la computadora un diagrama con 3 tanques.



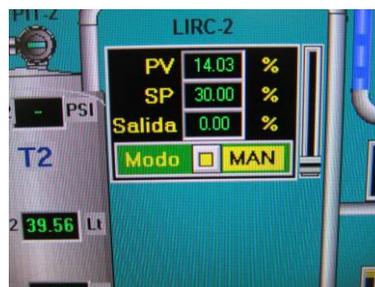
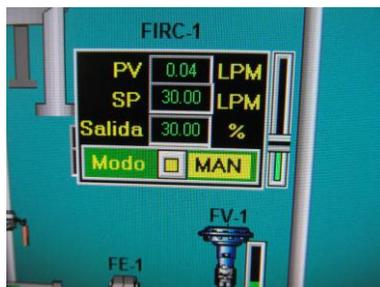
- 18) Dar clic en RUNTIME del menú principal y seleccionar IR A TIEMPO DE EJECUCIÓN, aparecerán 2 tanques.  
19) Verificar que los niveles de agua en los tanques T1 y T2 tengan aproximadamente el 50 % de agua, si se considera necesario abrir las válvulas de bola manuales (HV y HV-1 de suministro de agua al tanque T1 y en el programa Aurora HMI SCADA abrir la válvula neumática V-6 (dar clic sobre la válvula).





PRACTICA 2. TRANSMISORES

- 20) En el controlador registrador indicador de flujo FIRC-1. Activar modo manual.
- 21) En el controlador registrador indicador de nivel LIRC-2, puede dejar el modo automático o activar el modo manual.



- 22) Seleccionar la opción que más le agrade para la dirección del flujo de agua.

**SELECTOR 1**

- a) TRANSFERIR a T1 Nota: Si se elige ésta opción, verificar que también esté abierta la válvula manual HV5.
- b) TRANSFERIR a T2
- c) TRANSFERIR T1 y T2

**SELECTOR 2**

LIC-2 el cuadro debe estar en color azul claro (controlando nivel).

- 23) Activar la opción TRANSFERIR A T2, para poder controlar el nivel del tanque T2.

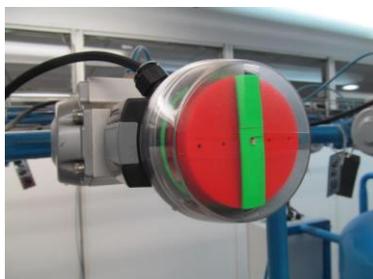


SELECTOR 1	SELECTOR 2
<input type="checkbox"/> TRANSFERIR A T2 Verde claro	<input type="checkbox"/> LIC 2 Azul claro Controlando nivel



PRACTICA 2. TRANSMISORES

24) Verificar que se encuentren abiertas las válvulas de bola neumáticas V-2 y V-5 y cerrada la válvula de bola neumática V-1.



25) Ajustar la posición de apertura de la válvula de control moviendo la Señal de SALIDA del controlador de Flujo FIRC-1 y del controlador registrador indicador de Nivel LIRC-2, la escala es de 0 a 100 %. Se puede elegir un valor del 50 %.

FIRC-1	LIRC-2
PV=	PV=
SP= 30 %	SP= 50 %
Salida = 50 %	Salida = 50 %
Modo <input type="checkbox"/> Manual	Modo <input type="checkbox"/> Auto
Verde claro	Azul claro

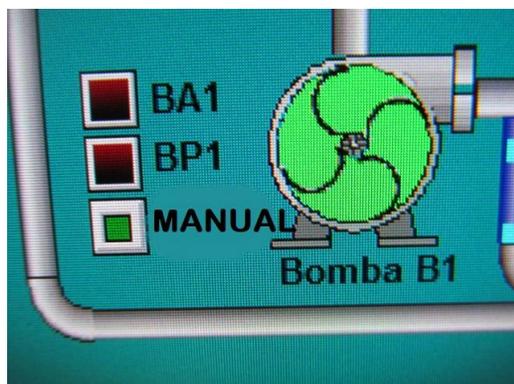
26) Dar clic en SINTONÍA, la cual se encuentra en la parte inferior derecha y verificar las siguientes condiciones.

En Sintonía					
CONTROL DE FLUJO			CONTROL DE NIVEL		
SP	PV	SALIDA	SP	PV	SALIDA
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
FLUJO			NIVEL		
Kc = 0.70			Kc = 3000		
Ti = 2.00 minutos/repeticiones			Ti = 0.0		
Td = <input type="text"/>			Td = <input type="text"/>		
Acción <input type="checkbox"/> Directa			Acción <input type="checkbox"/> Directa		
Verde			Amarillo		



PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

- 27) Dar clic en TANQUES.
- 28) Accionar Interruptor de la Bomba a trabajar:
- 1) Bomba 1 para alimentar agua al tanque T2, dar clic en BA1 ó
  - 2) Bomba 2 para retornar el agua al tanque T1, dar clic en BA2



- 29) Tomar lectura de la señal de salida en el transmisor de nivel conectado del lado derecho del tanque T2, la unidad de medida está en miliamperes mA, a diferentes valores de nivel en el tanque T2 (20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 80 %).



- 30) Registrar valores en la tabla de datos experimentales.
- 31) Una vez terminadas las lecturas Desactivar Interruptor de la Bomba que se activó dar clic en BP1 o BP2 según corresponda.





PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

- 32) En el controlador registrador indicador de nivel LIRC-2 Aurora HMI SCADA.
  - a) Modificar SP a 0 %.
  - b) Activar en modo manual.
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0 %.
  
- 33) En el controlador registrador indicador de flujo FIRC-1 Aurora HMI SCADA.
  - a) Modificar SP a 0 %.
  - b) Activar en modo manual.
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0 %.



- 34) Dejar ambos Selectores Aurora HMI SCADA en la opción FUERA.



- 35) Cerrar válvula de bola de tubería blanca para quitar el suministro de aire al equipo y válvula de bola manual de tubería azul de suministro de agua al tanque de alimentación, en caso de que ésta se haya abierto.





PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

- 36) Dar clic en PRINCIPAL.
- 37) Seleccionar SALIR para cerrar programa sin guardar cambios.
- 38) Aparece letrero que dice: NO SE HAN GUARDADO LOS CAMBIOS A ESTE PROYECTO  
¿DESEA GUARDARLOS?
- 39) Dar clic en respuesta NO.
- 40) Aparece letrero que dice: ¿DESEA TERMINAR LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO?
- 41) Dar clic en respuesta YES.
- 42) Dar clic en INICIO y seleccionar APAGAR EQUIPO.
- 43) Presionar botón Paro de Emergencia (PE).



- 44) Desactivar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo.
- 45) Desactivar servicio del compresor de aire.

## 2.5 Tabla de Datos Experimentales.

Tabla de Datos Experimentales Transmisores Simulador Neumático MECI		
Corrida	Nivel Real $L_{REAL}$ cm	Nivel en el Indicador LI %
1)	0	
2)	10	
3)	20	
4)	30	
5)	40	
6)	50	

PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

Tabla de Datos Experimentales Transmisores Equipo Multilazo IMEPI		
Corrida	Nivel Real $L_{REAL}$ (%)	Señal de Salida en el Transmisor de Nivel mA
1)		
2)		
3)		
4)		
5)		
6)		

**2.6 Secuencia de Cálculos.**

- 1) Calcular la señal de salida del transmisor teórica, (en mA) para cada uno de los valores de la variable de proceso (nivel leído en el tanque en %). Aplicando la ecuación de la línea recta.
- 2) Calcular el Error o desviación para cada lectura en mA.  
Error = Valor leído o transmitido por el instrumento – Valor real de la variable medida
- 3) Calcular el Rango del instrumento utilizado en el experimento.  
Rango = Valor inferior de la escala del instrumento al valor superior de la escala del instrumento.



PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

- 4) Calcular el error de multiplicación para cada lectura.

$$\text{Error de multiplicación} = \frac{\text{Valor real de la variable medida (mA teórico)}}{\text{Valor leído o transmitido por el instrumento (en mA)}}$$

- 5) Calcular el SPAN o Alcance del instrumento utilizado en el experimento.  
Span = Valor superior del rango del instrumento – Valor inferior del rango del instrumento
- 6) Señalar en una imagen o foto de un transmisor neumático, cuales son los tornillos que sirven para corregir el error de cero y el error multiplicación.

## 2.7 Tabla de Resultados y Gráfica.

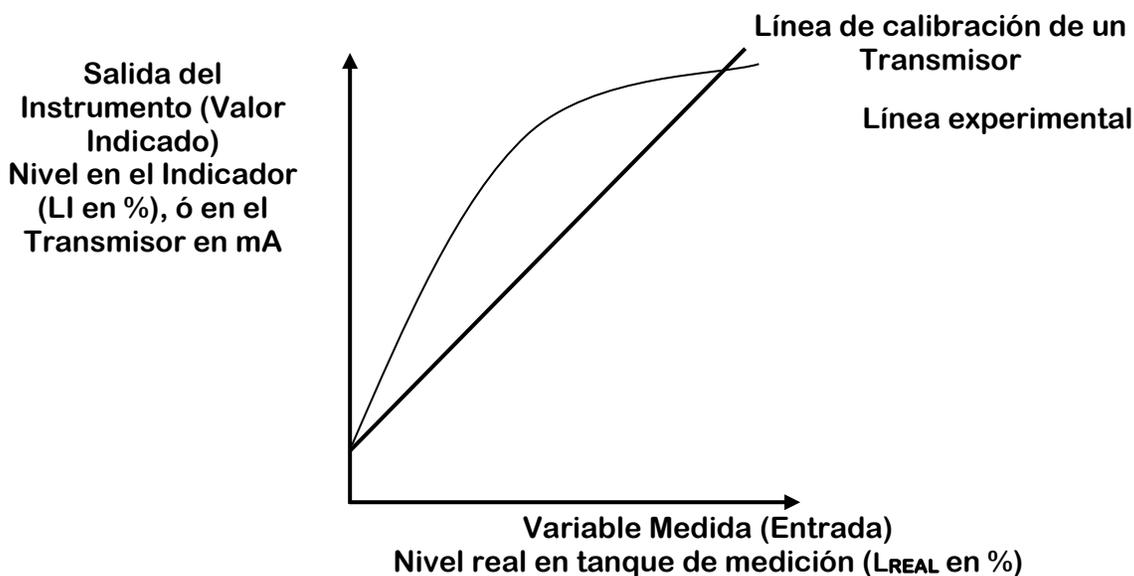
Tabla de Resultados Transmisores Simulador Neumático MECI			
Corrida	Nivel Real L <sub>REAL</sub> cm	Nivel Real L <sub>REAL</sub> %	Nivel en el Indicador LI %
1)	0		
2)	10		
3)	20		
4)	30		
5)	40		
6)	50		



Tabla de Resultados Transmisores Equipo Multilazo IMEPI					
Corrida	Nivel Real $L_{REAL}$ %	Señal de Salida en Transmisor de Nivel mA	Señal de Salida teórica mA	Error o desviación mA	Error de multiplicación $\frac{mA_{REAL} O TEÓRICA}{mA_{TRANSMISOR}}$
1)					
2)					
3)					
4)					
5)					
6)					

**Elaboración de la Gráfica.**

- 1) Registrar en el eje de las "X" la Variable Medida (Entrada) o Valor Real de la Variable Medida (Lectura del Nivel en el Tanque de Medición), 0, 5, 10, 15,...100 %
- 2) Registrar en el eje de las "Y" el Valor de la Señal de Salida del Instrumento Transmisor, 0, 1, 2, 3,...20 mA.
- 3) Trazar la respuesta ideal que es una línea recta de 45 ° que va del 0 al 100 %.
- 4) Señalar en la gráfica los errores encontrados en el Transmisor utilizado en el experimento (error de cero y/o error de multiplicación).





PRACTICA 2.  
TRANSMISORES

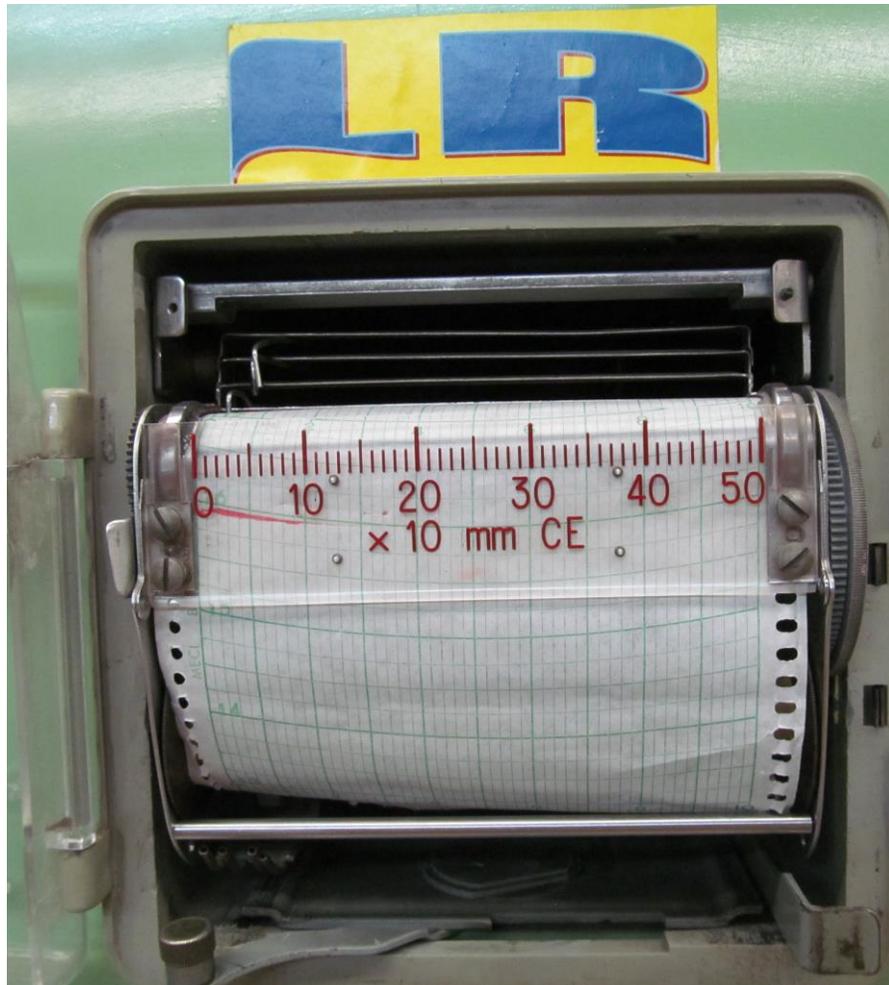
---

**2.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).**

**2.9 Conclusiones.**

# PRACTICA 3

## RECEPTORES





PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

Contenido de la práctica.

- 3.1 Objetivo.
- 3.2 Síntesis de la teoría.
- 3.3 Equipo utilizado en la práctica.
- 3.4 Instructivo de operación de la práctica.
- 3.5 Tabla de datos experimentales.
- 3.6 Secuencia de cálculos.
- 3.7 Tabla de resultados y gráfica.
- 3.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica)
- 3.9 Conclusiones.

**3.1 Objetivo.**

Determinar el tipo de error en los receptores neumáticos o eléctricos y de acuerdo a sus señales de recepción ajustar el aparato.

**3.2 Síntesis de la teoría.**

**Receptores.**

Es el nombre genérico que se les da a los instrumentos que captan las señales de los transmisores. Dentro de estos instrumentos se encuentran los registradores, indicadores y los controladores, si los mismos están acoplados a un transmisor. Los receptores tienen la capacidad de procesar la información de la variable medida indirectamente del tipo de variable de proceso (flujo, presión, temperatura, nivel etcétera). (Enriquez, G. (2006). El ABC de la Instrumentación en el Control de Procesos Industriales.)

**Indicadores.**

Son instrumentos utilizados para mostrar visualmente el valor presente de una cantidad medida. Generalmente los indicadores disponen de un índice o aguja, y de una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable directamente en unidades de ingeniería. En la Figura 3.1, se muestra un instrumento indicador neumático.

En la actualidad se utilizan instrumentos indicadores digitales, los cuales muestran un valor en forma numérica con dígitos. La ventaja de estos instrumentos radica en que se puede cambiar el rango de medición en forma automática (auto-rango). (Ramírez, J. C. (2001). El Maravilloso Mundo de la Instrumentación.)

Los indicadores pueden incorporar el sensor, como el caso de los manómetros de Bourdon, pueden aceptar diferentes tipos de sensores, como el caso de algunos indicadores digitales de temperatura, pueden conectarse a un transmisor, o estar integrados en un transmisor.

**Registradores.**

Son instrumentos que muestran con un trazo continuo o a puntos el valor de una variable en función del tiempo. La información mostrada es utilizada para análisis posteriores.



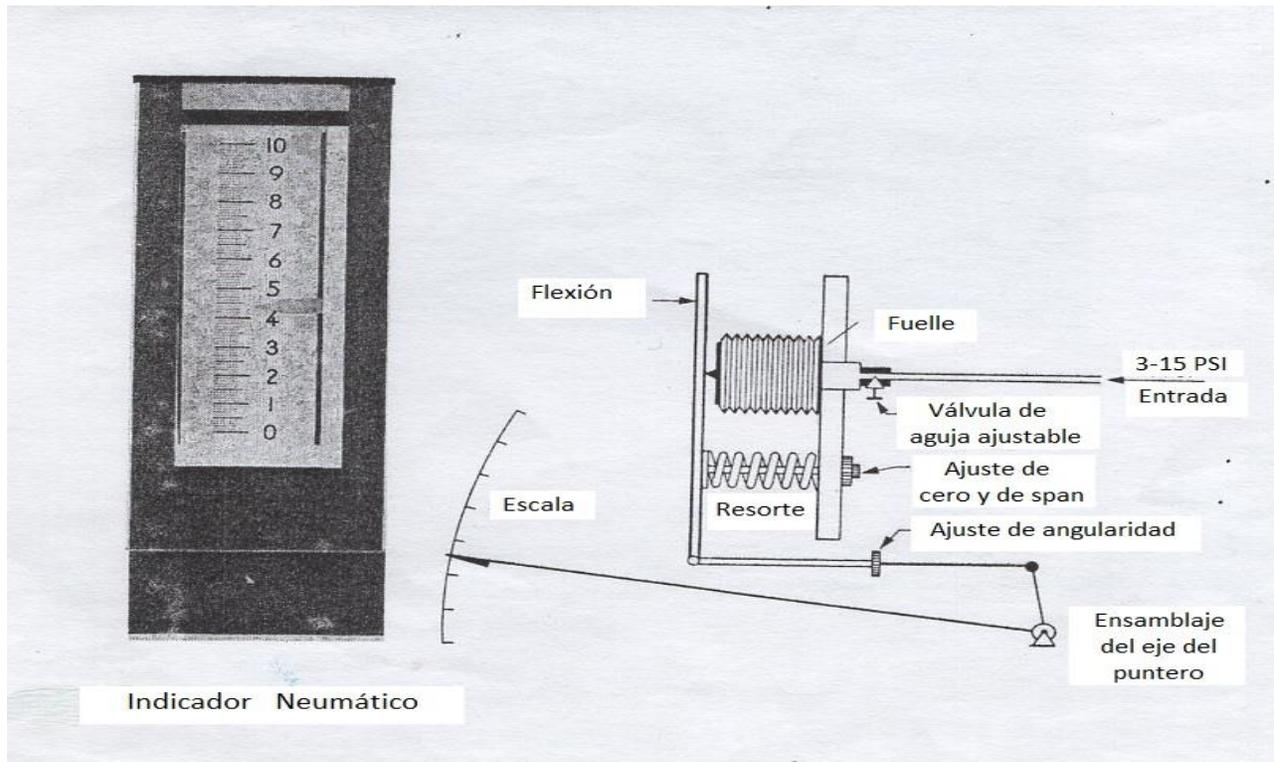
Existen muchos tipos de registradores, pueden ser circulares o de gráfico rectangular. Los registradores de gráfico circular pueden tener el gráfico de una revolución en 20 horas, mientras que, en el rectangular, la velocidad normal del gráfico es de 20 mm/hora, aunque esta velocidad es configurable.

Los registradores pueden mostrar y guardar una o más señales a través del tiempo. Cada señal utiliza una plumilla colocada al extremo del brazo del registrador.

En la actualidad existen registradores electrónicos, los cuales guardan la información en memoria no volátil, para luego descargarla en un computador para la construcción de la gráfica y poder llevar a cabo el análisis de la información.

**Principio de Funcionamiento del Receptor Neumático** (ver figuras: 3.1 es un indicador y 3.2 es un registrador).

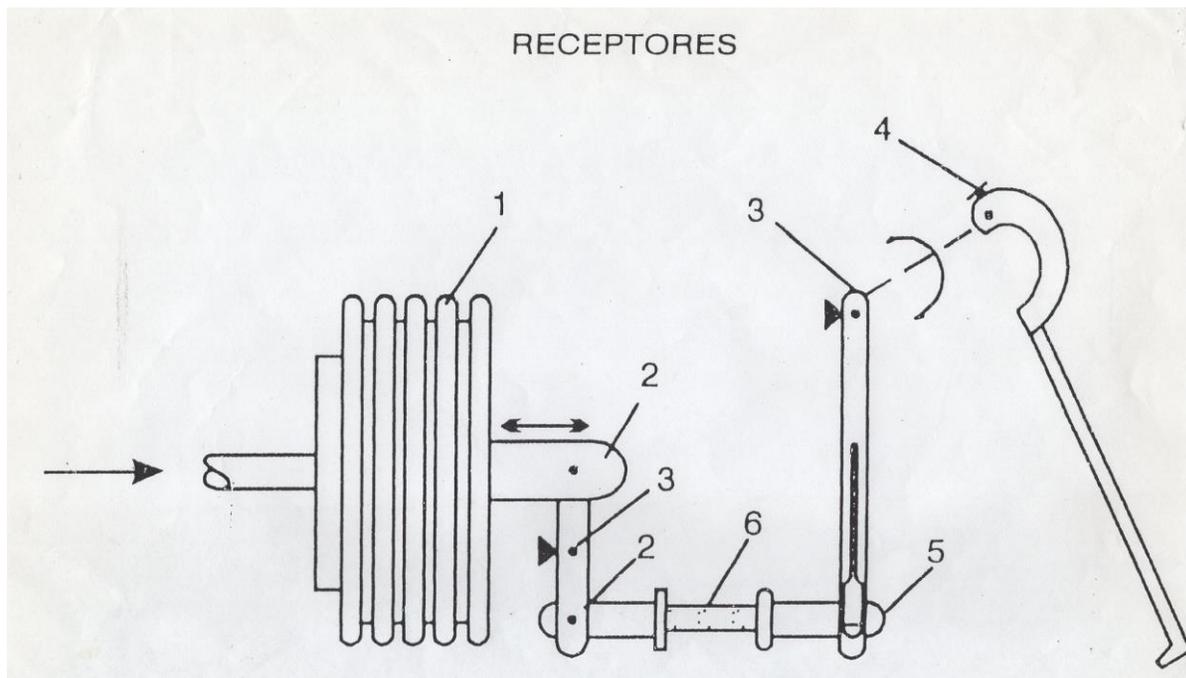
- 1) Se recibe la presión en el fuelle o cápsula. Este se infla contra un resorte y amplifica el desplazamiento obtenido por medio de un juego de palancas.
- 2) Transmite un movimiento sobre su eje a la palanca de salida del mismo fuelle, y hace que esta palanca pivotee en el eje fijo.
- 3) Transmite el movimiento hasta el eje de la plumilla o puntero y convierte el movimiento lineal en angular.
- 4) Se muestra el valor de la variable medida.



**Figura 3.1. Indicador Neumático.**

PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

En la tabla 3.1, se indica como corregir los errores de cero, multiplicación y angularidad en un registrador neumático.



**Figura 3.2. Registrador Neumático.**  
(Díaz, R. (1999). Laboratorio de Instrumentación y Control.)

Tabla 3.1. Tornillos de Ajuste de Cero, Multiplicación y Angularidad en los Receptores (Registrador Neumático)	
Tipo de Errores en un Registrador	Forma de corregir el error
✧ Error de cero	Se hace el ajuste de cero que normalmente se localiza en el punto 4 de la figura 3.2
✧ Error de multiplicación	Se ajusta el tornillo deslizante de la palanca de llegada al eje de la pluma (5) ver figura 3.2
✧ Error de angularidad	Se ajusta la longitud del eslabón (6) ver figura 3.2

**Controladores.**

Son dispositivos que modulan la variable controlada (presión, nivel, flujo, temperatura, etcétera) comparándola con un valor predeterminado o punto de consigna o set point y ajustando la salida de acuerdo a la diferencia o resultado de la comparación a fin de ejercer una acción correctiva de acuerdo con la desviación.



PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

La variable controlada la pueden recibir directamente como controladores locales, o bien indirectamente en forma de señal neumática, electrónica o digital procedente de un transmisor.

Los controladores se utilizan para el control automático de procesos.

**Preguntas de Investigación.**

- 1) ¿Qué son y cómo funcionan los receptores de tipo neumático?
- 2) ¿De qué partes constan los receptores de tipo neumático?
- 3) ¿Qué diferencia hay entre los receptores analógicos y digitales?
- 4) ¿Cuáles son los tipos de señales de transmisión de los receptores y cómo se representan de acuerdo a la Norma ISA?
- 5) ¿En qué consiste y cómo se corrige físicamente el error lineal o de cero en los receptores del tipo neumático?
- 6) ¿En qué consiste y cómo se corrige físicamente el error de multiplicación o de suma en los receptores del tipo neumático?
- 7) ¿En qué consiste y cómo se corrige físicamente el error angular o de linealidad en los receptores del tipo neumático?
- 8) ¿Cómo se representa un receptor de nivel ubicado en campo y en tablero de acuerdo a la Norma ISA?
- 9) Apoyándose de la Norma ISA, represente un sensor de nivel conectado a un transmisor indicador de nivel, de tipo neumático, ubicado en campo; éste transmisor a su vez está conectado a un controlador indicador de tipo neumático, ubicado en tablero y finalmente conecte el controlador a una válvula de control neumática, debidamente identificada.
- 10) Apoyándose de la Norma ISA, represente un sensor de temperatura (termopar), ubicado en campo, conectado a un transmisor indicador, de tipo eléctrico, ubicado en campo, conectado a un controlador indicador, de tipo eléctrico, ubicado en tablero y finalmente conecte el controlador a una válvula de control eléctrica, debidamente identificada.
- 11) Apoyándose de la Norma ISA represente un convertidor de señal de la variable nivel, que convierte la señal eléctrica a neumática, empleando la simbología ISA.

**3.3 Equipo utilizado en la práctica.**

Simulador Neumático MECI

Equipo Multilazo IMEPI (capacidad del tanque de medición 280 litros)

Compresor de aire



PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

3.4 Instructivo de operación de la práctica.

A) En Simulador Neumático (MECI).

- 1) Poner en servicio el compresor. Revisar previamente nivel de aceite.
- 2) Abrir totalmente la válvula de compuerta de alimentación de aire al equipo, que se encuentra localizado en la parte posterior del tanque de alimentación.



- 3) Verificar que la presión indicada en el segundo manómetro sea de 1.4 kgf/cm<sup>2</sup>, de lo contrario regularla con válvula reductora de presión.



- 4) Ajustar la posición de apertura de la válvula de control manual manejando la perilla del HIC, en posición abierta. Donde se encuentra la letra A es abierta y donde está la letra C está cerrada la válvula, (el puntero del HIC debe marcar cero).





PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

- 5) Accionar interruptor de la bomba para alimentar agua al tanque de medición.



- 6) Cerrar válvula de paso (válvula de reflujo) permitiendo que el nivel de agua suba al tanque de medición.



- 7) Cuando el nivel del tanque de medición esté ligeramente arriba de 50 cm desactivar interruptor de la bomba de agua, simultáneamente cerrar la válvula de control manual manejando la perilla del HIC (el puntero del HIC debe marcar 10).





PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

- 8) Abrir ligeramente la válvula de reflujo, para mantener el nivel del agua a 50 cm.



- 9) Tomar lectura en el registrador de nivel LR con la plumilla del instrumento receptor, escala de 0 a 50 cm.

- 10) Descargar parcialmente el tanque con la válvula de paso y tomar lecturas en LR para el resto de los datos (45 cm, 40 cm, 35 cm, 30 cm, 25 cm, 20 cm, 15 cm, 10 cm, 5 cm y cero respectivamente).



- 11) Una vez terminadas las lecturas cerrar válvula de compuerta para quitar el suministro de aire al sistema.





PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

**B) En Equipo Multilazo IMEPI (Instructivo de operación).**

- 1) Poner en servicio el compresor de aire. Revisar previamente nivel de aceite.
- 2) Purgar o drenar el agua condensada acumulada dentro del compresor (abrir un poco la válvula de compuerta VC1). Con el objeto de obtener un aire más limpio a la salida del compresor.



- 3) Abrir válvula de bola VB1 o válvula de paso (girar hacia la izquierda).



- 4) Accionar botón verde.



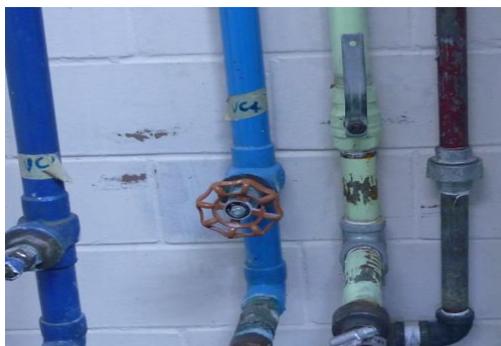


PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

- 5) Accionar 3 interruptores (los de arriba y los de abajo). Desplazándolos hacia la derecha.



- 6) Abrir válvula principal de suministro de aire, ubicada en la pared del lado derecho del compresor (válvula de bola de tubería verde, girar hacia arriba) y accionar interruptor principal (desplazar hacia arriba).



- 7) Accionar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo, ubicados en la parte trasera del equipo Multilazo.





PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

- 8) Abrir válvula de bola de tubería blanca para el suministro de aire al equipo, verificar que la presión no sea menor a 90 psig.



- 9) Revisar que las válvulas manuales para drenar los tanques estén cerradas.  
10) Verificar en el tablero de control que el selector esté en la posición de “PLC”, cuando el control del sistema se realice con el Controlador Lógico Programable y con la estación del software Aurora HMI SCADA. Y el Selector de la variable de proceso esté en Nivel “L”



- 11) Desactivar el botón Paro de Emergencia (PE). Jalar el botón hacia uno.



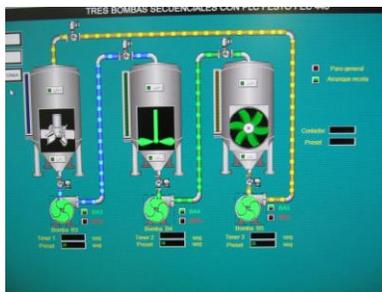
- 12) Oprimir el Botón de Encendido para energizar el tablero de control. Si se escucha un ruido es la alarma, oprimir botón REC AL (Reconoce Alarma) que está en el Tablero de Control, para desactivar la alarma, o también se puede hacer en la pantalla de la computadora en el cuadro que dice Reconoce Alarma Sonora.



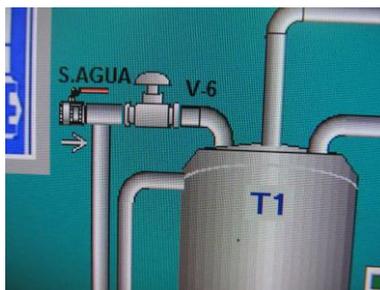


PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

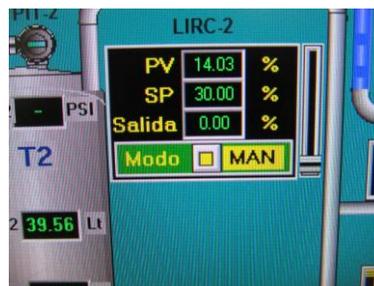
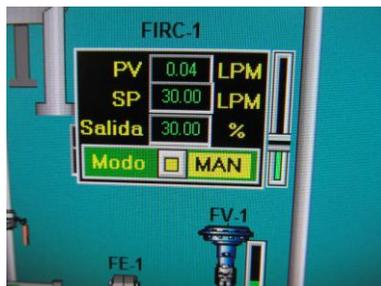
- 13) Encender computadora y esperar.
- 14) Dar doble clic en el Programa Aurora HMI SCADA.
- 15) Aparece cuadro que dice: Select Directory dar clic en Cerrar.
- 16) Dar clic en PRINCIPAL, y seleccionar la primera opción en PROYECTOS RECIENTES.
- 17) Aparece en la pantalla de la computadora un diagrama con 3 tanques.



- 18) Dar clic en RUNTIME del menú principal y seleccionar IR A TIEMPO DE EJECUCIÓN, aparecerán 2 tanques.
- 19) Verificar que los niveles de agua en los tanques T1 y T2 tengan aproximadamente el 50 % de agua, si se considera necesario abrir las válvulas de bola manuales (HV y HV-1 de suministro de agua al tanque T1 y en el programa Aurora HMI SCADA abrir la válvula neumática V-6 (dar clic sobre la válvula).



- 20) En el controlador registrador indicador de flujo FIRC-1, activar modo manual.
- 21) En el controlador registrador indicador de nivel LIRC-2, puede dejar el modo automático o activar el modo manual.





PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

22) Seleccionar la opción que más le agrade para la dirección del flujo de agua.

**SELECTOR 1**

- a) TRANSFERIR a T1 Nota: Si se elige ésta opción, verificar que también esté abierta la válvula manual HV5.
- b) TRANSFERIR a T2
- c) TRANSFERIR T1 y T2

**SELECTOR 2**

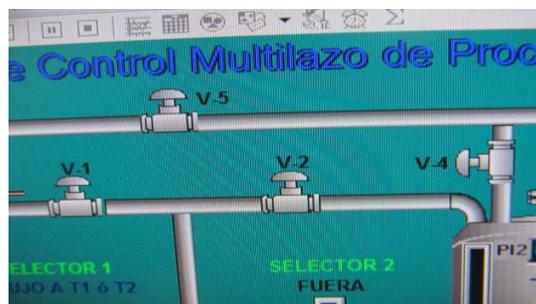
LIC-2 el cuadro debe estar en color azul claro (controlando nivel).

23) Activar la Opción TRANSFERIR A T2, para poder controlar el nivel del tanque T2.



SELECTOR 1	SELECTOR 2
 TRANSFERIR A T2 Verde claro	LIC 2  Azul claro Controlando Nivel

24) Verificar que se encuentren abiertas las válvulas de bola neumáticas V-2 y V-5 y cerrada la válvula de bola neumática V-1.





PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

- 25) Ajustar la posición de abertura de la válvula de control moviendo la Señal de SALIDA del controlador registrador indicador de flujo FIRC-1, la escala es de 0 a 100 %. Se puede elegir un valor del 50 %.

FIRC-1	LIRC-2
PV= SP= 30 % Salida = 50 % Modo <input type="checkbox"/> Manual Verde claro	PV= SP= 50 % Salida = 50 % Modo <input type="checkbox"/> Auto Azul claro

- 26) Dar clic en SINTONÍA, la cual se encuentra en la parte inferior derecha y verificar las siguientes condiciones.

En Sintonía					
CONTROL DE FLUJO			CONTROL DE NIVEL		
SP	PV	SALIDA	SP	PV	SALIDA
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
FLUJO			NIVEL		
Kc = 0.70 Ti = 2.00 minutos/repeticiones Td = <input type="text"/>			Kc = 3000 Ti = 0.0 Td = <input type="text"/>		
Acción <input type="checkbox"/> Directa verde			Acción <input type="checkbox"/> Directa Amarillo		

- 27) Dar clic en TANQUES.  
28) Accionar Interruptor de la Bomba a trabajar:  
a) Bomba 1 para alimentar agua al tanque T2, dar clic en BA1 ó  
b) Bomba 2 para retornar el agua al tanque T1, dar clic en BA2.





PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

- 29) Dar clic en TANQUES.
- 30) Tomar lectura del nivel en el controlador indicador de nivel (LIRC-2), la unidad de medida está en porcentaje (% o cm), a diferentes valores de nivel en el tanque T2 (20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 80 %). Nota: el 100 % de Nivel equivale a 100 cm.



- 31) Registrar lecturas en tabla de datos experimentales.
- 32) Una vez terminadas las lecturas Desactivar Interruptor de la Bomba que se activó dar clic en BP1 o BP2 según corresponda.



- 33) En el controlador registrador indicador de nivel LIRC-2 Aurora HMI SCADA
  - a) Modificar SP a 0 %.
  - b) Dejar en modo manual.
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0 %.
- 34) En el controlador registrador indicador de flujo FIRC-1 Aurora HMI SCADA
  - a) Modificar SP a 0 %.
  - b) Dejar en modo manual.
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0 %.





PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

35) Dejar ambos Selectores Aurora HMI SCADA en la opción FUERA.



36) Cerrar válvula de bola de tubería blanca para quitar el suministro de aire al equipo y válvula de bola manual de tubería azul de suministro de agua al tanque de alimentación, en caso de que ésta se haya abierto.



- 37) Dar clic en PRINCIPAL.
- 38) Seleccionar SALIR para cerrar programa sin guardar cambios.
- 39) Aparece letrero que dice: NO SE HAN GUARDADO LOS CAMBIOS A ESTE PROYECTO ¿DESEA GUARDARLOS?
- 40) Dar clic en respuesta NO.
- 41) Aparece letrero que dice: ¿DESEA TERMINAR LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO?
- 42) Dar clic en respuesta YES.
- 43) Dar clic en INICIO y seleccionar APAGAR EQUIPO.
- 44) Presionar botón Paro de Emergencia (PE).





PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

- 45) Desactivar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo.
- 46) Desactivar servicio del compresor de aire.

3.5 Tabla de datos experimentales.

Tabla de Datos Experimentales Receptores Simulador Neumático MECI		
Corrida	Nivel Real $L_{REAL}$ cm	Nivel en el Registrador LR cm
1)	0	
2)	10	
3)	20	
4)	30	
5)	40	
6)	50	

Tabla de Datos Experimentales Receptores Equipo Multilazo IMEPI		
Corrida	Nivel Real $L_{REAL}$ (%)	Nivel en el Controlador Registrador Indicador de Nivel LIRC-2 %
1)	20	
2)	30	
3)	40	
4)	60	
5)	70	
6)	80	



PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

**3.6 Secuencia de cálculos.**

- 1) Calcular el Error o desviación para cada lectura.

Error = Valor leído en instrumento receptor – Valor real de la variable medida

- 2) Calcular el error de multiplicación para cada lectura.

Error de multiplicación = 
$$\frac{\text{Valor real de la variable medida}}{\text{Valor leído en instrumento receptor}}$$

- 3) Calcular el Rango del instrumento utilizado en el experimento.

Rango = Valor inferior de la escala del instrumento receptor al valor superior de la escala del instrumento receptor.

- 4) Calcular el SPAN o Alcance del instrumento utilizado en el experimento.

Span = Valor superior del rango del instrumento receptor – Valor inferior del rango del instrumento receptor

- 5) Señalar en una imagen o foto de un receptor neumático, cuales son los tornillos que sirven para corregir el error de cero, el error multiplicación y el error de angularidad.



PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

3.7 Tabla de resultados y gráfica.

Tabla de Resultados Receptores Simulador Neumático MECI		
Corrida	Nivel Real $L_{REAL}$ cm	Nivel en el Registrador LR cm
1)	0	
2)	10	
3)	20	
4)	30	
5)	40	
6)	50	

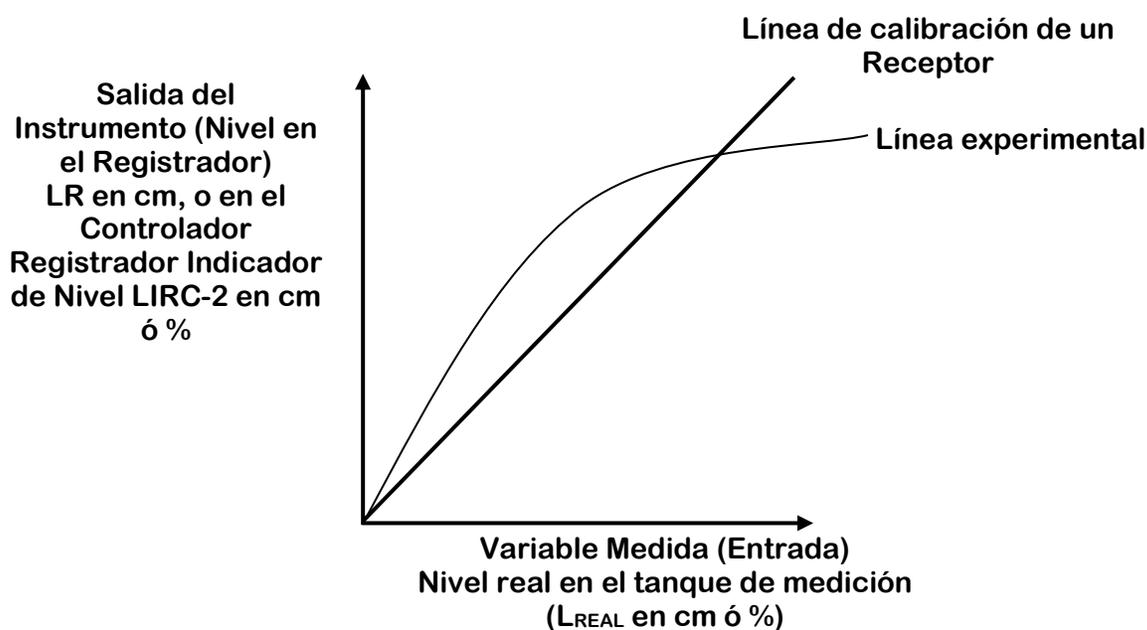
Tabla de Resultados Receptores Equipo Multilazo IMEPI				
Corrida	Nivel Real $L_{REAL}$ cm	Nivel en el Controlador registrador indicador de Nivel LIRC-2 cm	Error o desviación cm	Error de multiplicación
1)	20			
2)	30			
3)	40			
4)	60			
5)	70			
6)	80			



PRÁCTICA 3.  
RECEPTORES

**Elaboración de la gráfica.**

- 1) Registrar en el eje de las "X" la Variable Medida (Entrada) o Valor Real de la Variable Medida (Lectura del Nivel en el Tanque de Medición).
- 2) Registrar en el eje de las "Y" el Valor de Salida del Instrumento Receptor.
- 3) Trazar la respuesta ideal que es una línea recta de  $45^\circ$  que va del 0 al 100 %.
- 4) Señalar en la gráfica los errores encontrados en el Receptor utilizado en el experimento (error de cero, error de multiplicación y/o el error de angularidad).



**3.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).**

**3.9 Conclusiones.**

# **PRACTICA 4**

## **CURVA DE OPERACIÓN DE UNA PLACA DE ORIFICIO**





## Contenido de la práctica.

- 4.1 Objetivo.
- 4.2 Síntesis de la teoría.
- 4.3 Equipo utilizado en la práctica.
- 4.4 Instructivo de operación de la práctica.
- 4.5 Tabla de datos experimentales.
- 4.6 Secuencia de cálculos.
- 4.7 Tabla de resultados y gráfica.
- 4.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).
- 4.9 Conclusiones.

### 4.1 Objetivo.

Determinar la relación cuadrática entre el gasto y la caída de presión o señal de salida del transmisor en una placa de orificio, con el propósito de apreciar el efecto de la no linealidad sobre un lazo de control.

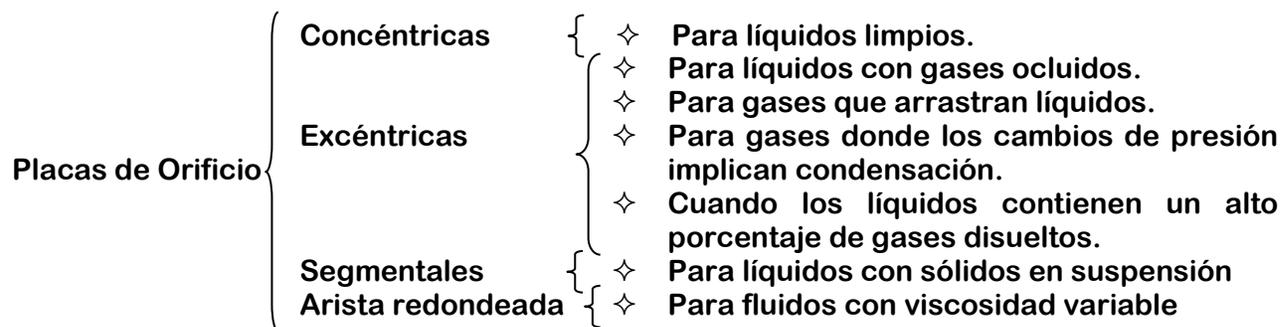
### 4.2 Síntesis de la teoría.

#### Placa de Orificio.

La placa de orificio es un elemento primario de medición que sirve para medir el caudal ( $Q$ ) a través de la pérdida de carga o de presión diferencial ( $\Delta P$ ) y consiste en una placa perforada que se instala en la tubería. El orificio que posee es una abertura en forma circular que puede ser concéntrica, excéntrica o segmental a través de la cual fluye el fluido.

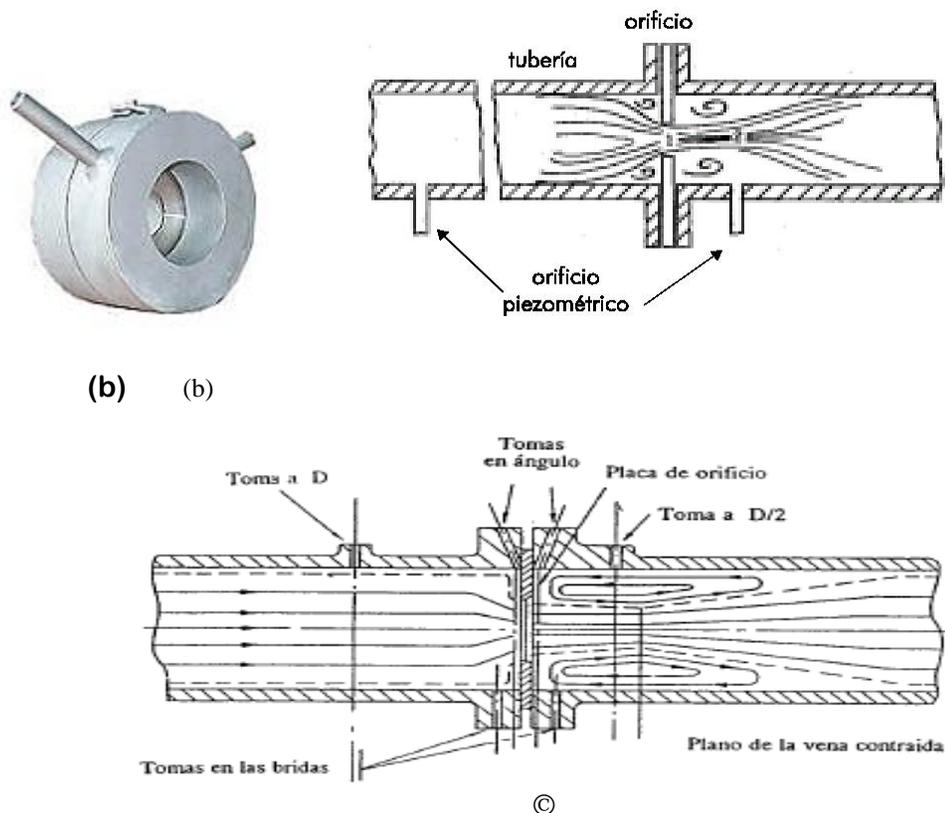
Se trata sencillamente de pasar un fluido a través de una restricción (el orificio de la Placa) y se lee la caída de presión o presión diferencial ( $\Delta P$ ) de la restricción, la cual es proporcional a la razón del flujo volumétrico ( $Q$ ) a través del orificio.

Dentro de las Placas de Orificio se pueden encontrar varios tipos, dependiendo del tipo de fluido que se desee trabajar. La figura 4.1, muestra los diferentes tipos de placa de orificio y para qué tipo de fluidos se utilizan.



**Figura 4.1.** Tipos de Placas de Orificio y para qué tipo de fluidos se utilizan.

En la figura 4.2, se muestra el dibujo de una Placa de Orificio (a), el corte transversal de tubería con una Placa de Orificio instalada (b) y por último el esquema con diferentes ubicaciones de las Tomas de Presión (c).



**Figura 4.2.** (a) Medidor de flujo tipo Placa de Orificio,  
 (b) Corte Transversal de Tubería con una Placa de Orificio Instalada  
 y © Diferentes Ubicaciones de las Tomas de Presión.

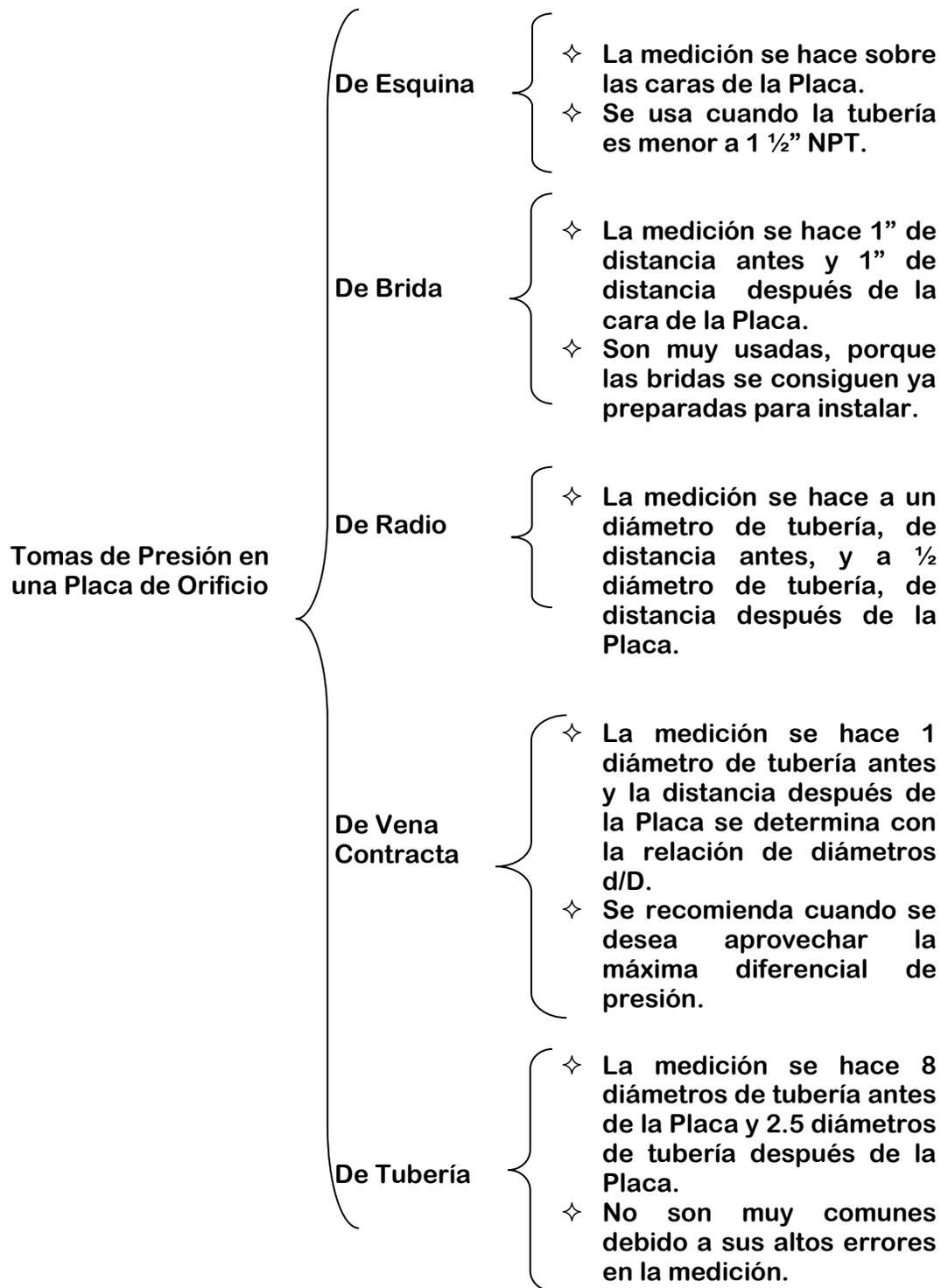
### Instalación de las Diferentes Ubicaciones de Tomas de Presión para una Placa de Orificio.

A la Placa de Orificio o Elemento Primario de Medición de Caudal, se le conectan líneas de impulso desde las tomas de presión aguas arriba y aguas abajo hacia un elemento secundario como un Transmisor DP (de presión diferencial).

Estas dos tomas de presión conectadas, una en la parte anterior a la ubicación de la Placa de Orificio (conocida como aguas arriba) y la otra en la parte posterior a la ubicación de la Placa de Orificio (conocida como aguas abajo) captan la presión diferencial.

(Díaz, R. (1999). Laboratorio de Instrumentación y Control.)

En las placas de orificio hay cinco posibles instalaciones para medir la presión diferencial. La figura 4.3, muestra a que distancia antes y después de la Placa de Orificio se deben instalar las diferentes Tomas de Presión para la medición de la diferencial de presión, y cuando es recomendable utilizar cada uno de los diferentes tipos de Tomas de Presión.

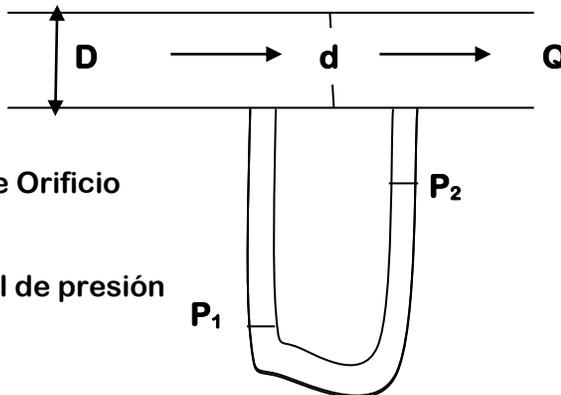


**Figura 4.3.** Distancias Antes y Después de la Placa de Orificio donde se deben colocar las diferentes Tomas de Presión al Instalar una Placa de Orificio.  
Nota: NPT es un acrónimo del inglés National Pipe Thread).



**Nota:** El diámetro del orificio generalmente varía entre el 10 % y el 75 % del diámetro de la tubería.

**Ecuación de flujo utilizada en una Placa de Orificio.**



D = diámetro interior de la tubería

d = diámetro interior de la Placa de Orificio

Q = Caudal o gasto volumétrico

$\Delta P$  = Caída de presión o diferencial de presión

v = velocidad del fluido

A = área de paso del fluido

Co = Coeficiente de descarga

Fa = Factor de corrección por expansión térmica del elemento primario

$$\Delta P \propto v^2$$

$$\Delta P = k v^2$$

$$\frac{\Delta P}{k} = v^2$$

$$\sqrt{\frac{\Delta P}{k}} = v$$

$$Q = v A$$

$$Q = k_2 \sqrt{\Delta P} A$$

$$Q = k_2 \sqrt{2 g h} A$$

$$Q = Co \sqrt{2 g h} A$$

$$Q = Co \sqrt{2 g h} A Fa$$

Basado en el Teorema de Bernoulli, aplicado en un medidor de Placa de orificio la relación entre la velocidad del fluido pasando a través del orificio de un medidor de Placa de Orificio es proporcional a la raíz cuadrada de pérdida de presión a través de ella. (Villalobos, G. (1999). Medición de Flujo Placas de Orificio, Toberas de Flujo y Tubos Vénturi.), (Diario Oficial. (2 de julio de 1987). NOM-Z-61-1987. Norma Oficial Mexicana. Símbolos e Identificación de Instrumentación.)



$$Q_{\text{IDEAL}} = C_o A \sqrt{\Delta P}$$

$$Q_{\text{IDEAL}} = \sqrt{\Delta P}$$

$$Q_{\text{OPERACIÓN}} = \left[ \frac{\pi}{4} D_T^2 L \right] \left[ \frac{1}{t} \right]$$

$D_T$  = Diámetro del tanque = 25 cm  
(Simulador Neumático MECI)

$$Q_{\text{OPERACIÓN}} = 0.049 \frac{L}{t} \left[ \frac{=}{=} \right] \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}$$

### Preguntas de Investigación.

- 1) ¿Qué es, de qué material se fabrica, para qué sirve y como funciona una placa de orificio?
- 2) ¿Cuáles son los tipos y de qué partes consta una placa de orificio?
- 3) ¿Cuáles son las características de una placa de orificio y qué consideraciones se deben de tomar para su instalación?
- 4) ¿Cuáles son las diferentes posiciones de ubicación de las tomas de presión para la instalación de una placa de orificio?
- 5) ¿Cuáles son los tamaños de las placas de orificio?
- 6) ¿Cuáles son las causas de que una placa de orificio sea defectuosa?
- 7) ¿Cómo es la curva de operación de una placa de orificio?

### 4.3 Equipo utilizado en la práctica.

Simulador Neumático MECI

Equipo Multilazo IMEPI (capacidad del tanque de medición 280 litros)

Compresor de aire

### 4.4 Instructivo de operación de la práctica.

#### A) En Simulador Neumático MECI.

- 1) Poner en servicio el compresor de aire. Revisar previamente el nivel de aceite.
- 2) Abrir totalmente la válvula de compuerta de alimentación de aire que se encuentra situada en la parte trasera del Simulador Neumático.





- 3) Verificar que la presión indicada en el segundo manómetro sea de  $1.4 \text{ kgf/cm}^2$ , de lo contrario regularla con válvula reductora de presión.



- 4) Abrir válvula de reflujo del tanque de medición al tanque de alimentación.



- 5) Verificar que la válvula de bola de salida, esté abierta.



- 6) Accionar el interruptor de la bomba para alimentar agua al tanque de medición.



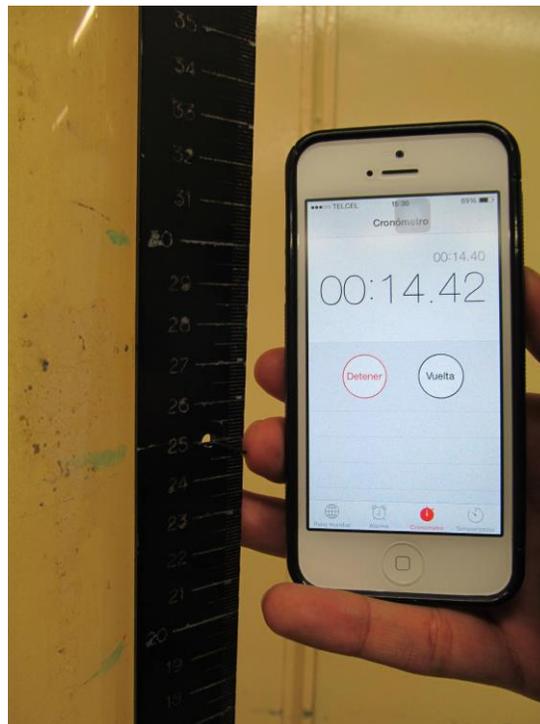
- 7) Ajustar la posición de apertura de la válvula de control, manejando la perilla del HIC (Controlador Indicador Manual) hasta que el puntero rojo del instrumento receptor LI (Indicador de Nivel) señale 4 %, tomando una escala de 0 a 100 %.



- 8) Cerrar válvula de reflujo previamente abierta, permitiendo que el nivel de agua suba en el tanque de medición.



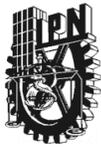
- 9) Medir y registrar el tiempo que tarda el nivel de agua en subir una altura de 5 cm en el tanque de medición.



- 10) Abrir válvula de reflujo y desactivar interruptor de la bomba (para permitir que baje el nivel de agua del tanque de medición).



- 11) Repetir los pasos del 7 al 10 para las lecturas restantes: 9 %, 16 %, 25 %, 36 %, 49 %, 64 %, 81 % y 100 %.



- 12) Una vez terminadas las lecturas, cerrar la válvula de compuerta de alimentación de aire.



- 13) Desactivar compresor de aire.  
14) Con los resultados obtenidos realizar gráfica correspondiente de %  $\Delta P$  vs  $Q_{op}$  y  $Q_{ideal}$ .

**B) En Equipo Multilazo IMEPI (Instructivo de operación).**

- 1) Poner en servicio el compresor de aire. Revisar previamente el nivel de aceite.  
2) Purgar o drenar el agua condensada acumulada dentro del compresor (abrir un poco la válvula de compuerta VC1). Con el objeto de obtener un aire más limpio a la salida del compresor.



- 3) Abrir válvula de bola VB1 o válvula de paso (girar hacia la izquierda).



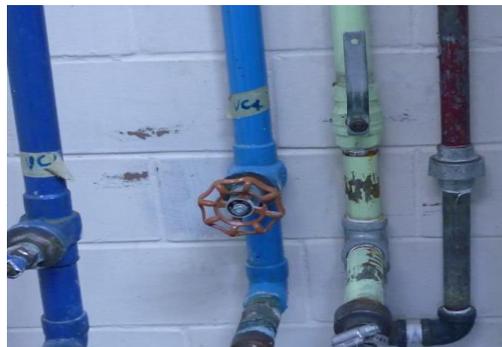
4) Accionar botón verde.



5) Accionar 3 interruptores (los de arriba y los de abajo). Desplazándolos hacia la derecha.



6) Abrir válvula principal de suministro de aire, ubicada en la pared del lado derecho del compresor (válvula de bola de tubería verde, girar hacia arriba) y accionar interruptor principal (desplazar hacia arriba).



- 7) Accionar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo, ubicados en la parte trasera del equipo Multilazo.



- 8) Abrir válvula de bola de tubería blanca para el suministro de aire al equipo, verificar que la presión no sea menor a 90 psig.



- 9) Revisar que las válvulas manuales para drenar los tanques estén cerradas.  
10) Verificar en el tablero de control que el selector esté en la posición de “PLC”, cuando el control del sistema se realice con el Controlador Lógico Programable y con la estación del software Aurora HMI SCADA. Y el selector de la variable de proceso esté en Flujo “F”



- 11) Desactivar el botón Paro de Emergencia (PE). Jalar el botón hacia uno.

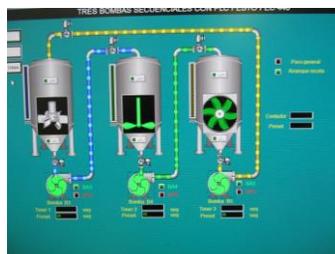




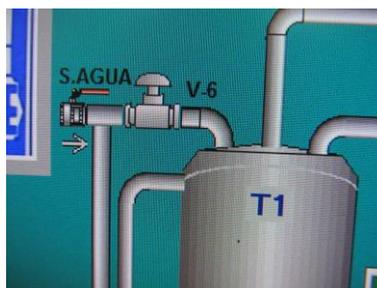
- 12) Oprimir el Botón de Encendido para energizar el tablero de control. Si se escucha un ruido es la alarma, oprimir botón REC AL (Reconoce Alarma) que está en el Tablero de Control, para desactivar la alarma, o también se puede hacer en la pantalla de la computadora en el cuadro que dice Reconoce Alarma Sonora.



- 13) Encender computadora y esperar.  
14) Dar doble clic en el Programa Aurora HMI SCADA.  
15) Aparece cuadro que dice: Select Directory dar clic en Cerrar.  
16) Dar clic en PRINCIPAL, y seleccionar la primera opción en PROYECTOS RECIENTES.  
17) Aparece en la pantalla de la computadora un diagrama con 3 tanques.

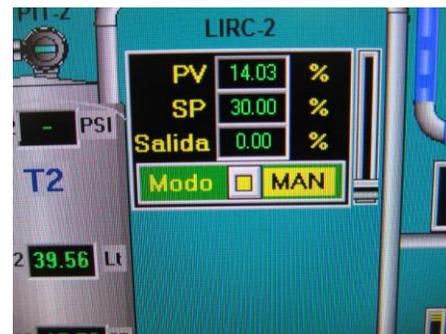
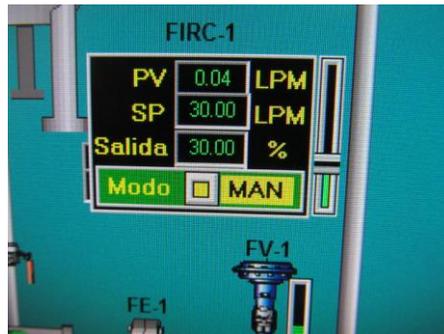


- 18) Dar clic en RUNTIME del menú principal y seleccionar IR A TIEMPO DE EJECUCIÓN, aparecerán 2 tanques.  
19) Verificar que los niveles de agua en los tanques T1 y T2 tengan aproximadamente el 50 % de agua, si se considera necesario abrir las válvulas de bola manuales HV y HV-1 de suministro de agua al tanque T1 y en el programa Aurora HMI SCADA abrir la válvula de bola neumática V-6 (dar clic sobre la válvula).





- 20) En el controlador registrador indicador de Flujo FIRC-1, activar modo manual.
- 21) En el controlador registrador indicador de Nivel LIRC-2, puede dejar el modo automático o activar el modo manual.



- 22) Seleccionar la opción que más le agrade para la dirección del flujo de agua.

**SELECTOR 1**

- a) TRANSFERIR a T1 Nota: Sí se elige ésta opción, verificar que también esté abierta la válvula manual HV5.
- b) TRANSFERIR a T2
- c) TRANSFERIR T1 y T2

**SELECTOR 2**

LIC-2 el cuadro debe estar en color azul claro (controlando nivel).

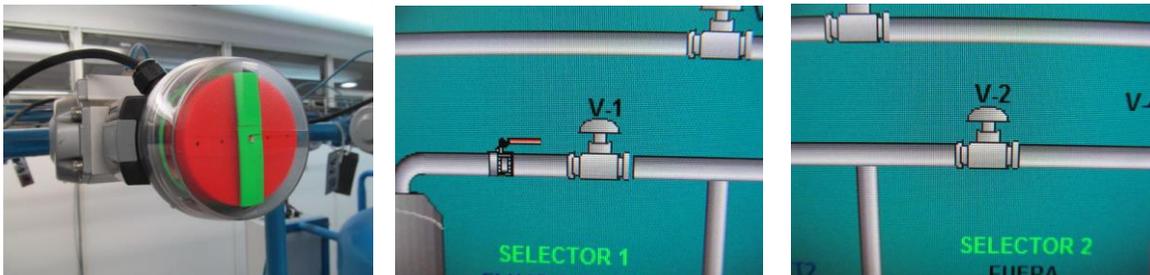
- 23) Como Ejemplo, se elige la Opción TRANSFERIR A T1.



SELECTOR 1	SELECTOR 2
<input type="checkbox"/> TRANSFERIR A T1 Verde claro	<input type="checkbox"/> LIC 2 Azul claro Controlando nivel



- 24) Comprobar en pantalla de operación y físicamente, que las válvulas de bola neumáticas V-1 esté abierta y V-2 esté cerrada.



- 25) Dar clic en SINTONÍA, la cual se encuentra en la parte inferior derecha y verificar las siguientes condiciones.

En Sintonía					
CONTROL DE FLUJO			CONTROL DE NIVEL		
SP	PV	SALIDA	SP	PV	SALIDA
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
FLUJO			NIVEL		
Kc = 0.70			Kc = 3000		
Ti = 2.00 minutos/repeticiones			Ti = 5.0		
Td = <input type="text"/>			Td = <input type="text"/>		
Acción <input type="checkbox"/> Directa verde			Acción <input type="checkbox"/> Directa Amarillo		

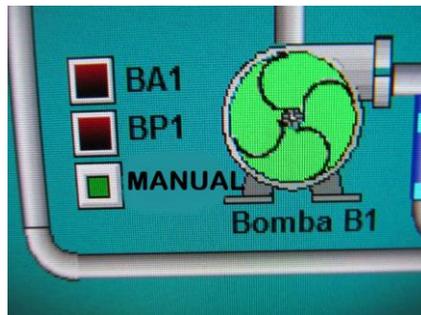
- 26) Dar clic en TANQUES.

- 27) Ajustar la posición de abertura de la válvula de control moviendo la Señal de SALIDA del controlador registrador indicador de flujo FIRC-1, comenzar con 9 %, la escala es de 0 a 100 %.

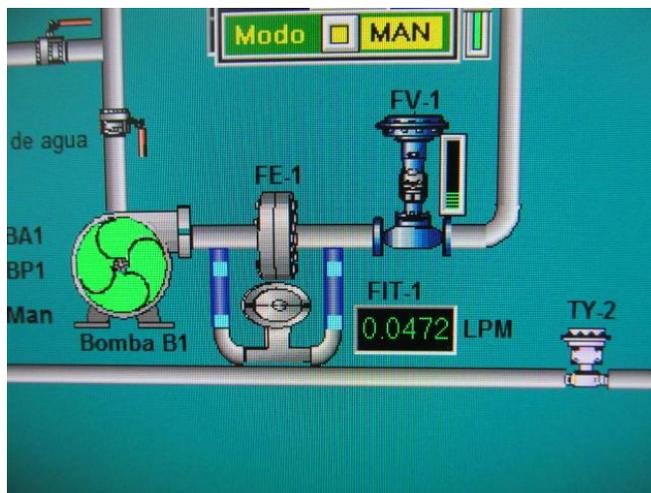
FIRC-1	
PV=	
SP=	30 %
Salida =	9 %
Modo <input type="checkbox"/>	Manual
	Verde claro



- 28) Accionar Interruptor de la Bomba 1, para retornar agua al tanque de alimentación, dando clic en BA1.



- 29) Tomar lectura de la caída de presión en el transmisor de flujo conectado a la Placa de Orificio, la unidad de medida está en in de H<sub>2</sub>O.



- 30) Tomar lectura de la variable de proceso PV correspondiente al Gasto Volumétrico en litros por minuto (LPM) que está pasando a través de la válvula de control de acuerdo al porcentaje de abertura.
- 31) Desactivar interruptor de la bomba 1, dar clic en BP1.
- 32) Repetir pasos: 22 a 25 para las lecturas restantes: 25 %, 36 %, 49 %, 64 %, 81 %, 100 %.
- 33) Registrar lecturas en tabla de datos experimentales de la caída de presión ( $\Delta P$ ) y del gasto volumétrico (Q).
- 34) Una vez terminadas las lecturas desactivar interruptor de la Bomba dando clic en BP1.



- 35) En el controlador registrador indicador de nivel LIRC-2 Aurora HMI SCADA.
- a) Modificar SP a 0 %.
  - b) Dejar en modo manual.
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0%.
- 36) En el controlador registrador indicador de flujo FIRC-1 Aurora HMI SCADA.
- a) Modificar SP a 0 %.
  - b) Dejar en modo manual.
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0%.



- 37) Dejar ambos Selectores Aurora HMI SCADA en la opción FUERA.



- 38) Cerrar válvula de bola de tubería blanca para quitar el suministro de aire al equipo y válvula de bola manual de tubería azul de suministro de agua al tanque de alimentación, en caso de que ésta se haya abierto.





- 39) Dar clic en PRINCIPAL.
- 40) Seleccionar SALIR para cerrar programa sin guardar cambios.
- 41) Aparece letrero que dice: NO SE HAN GUARDADO LOS CAMBIOS A ESTE PROYECTO ¿DESEA GUARDARLOS?
- 42) Dar clic en respuesta NO.
- 43) Aparece letrero que dice: ¿DESEA TERMINAR LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO?
- 44) Dar clic en respuesta YES.
- 45) Dar clic en INICIO y seleccionar APAGAR EQUIPO.
- 46) Presionar botón Paro de Emergencia (PE).



- 47) Desactivar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo.
- 48) Desactivar servicio del compresor de aire.

#### 4.5 Tabla de datos experimentales.

Tabla de Datos Experimentales Placa de Orificio Simulador Neumático MECI			
Corrida	$\Delta P$ (LIC) Lectura del receptor %	L Nivel cm	t segundos
1	4	5	
2	9	5	
3	16	5	
4	25	5	
5	36	5	
6	49	5	
7	64	5	
8	81	5	
9	100	5	



Tabla de Datos Experimentales Placa de Orificio Equipo Multilazo IMEPI			
Corrida	Abertura de la válvula de control % Salida	$\Delta P$ in de H <sub>2</sub> O	Q operación LPM
1	9		
2	25		
3	36		
4	49		
5	64		
6	81		
7	100		

#### 4.6 Secuencia de cálculos.

- 1) Calcular el Tiempo en minutos para cada lectura (sólo para el caso del Simulador Neumático MECI).
- 2) Calcular el Gasto volumétrico o Caudal Ideal en GPM para cada lectura.
- 3) Calcular el Gasto volumétrico o Caudal de operación en GPM para cada lectura.



#### 4.7 Tabla de resultados y gráfica.

Tabla de de Resultados Placa de Orificio (En Equipo Neumático MECI)				
Corrida	$\Delta P$ (LIC) Lectura del receptor %	t minutos	Q ideal Litros/minuto LPM	Q operación Litros/minuto LPM
1	4			
2	9			
3	16			
4	25			
5	36			
6	49			
7	64			
8	81			
9	100			

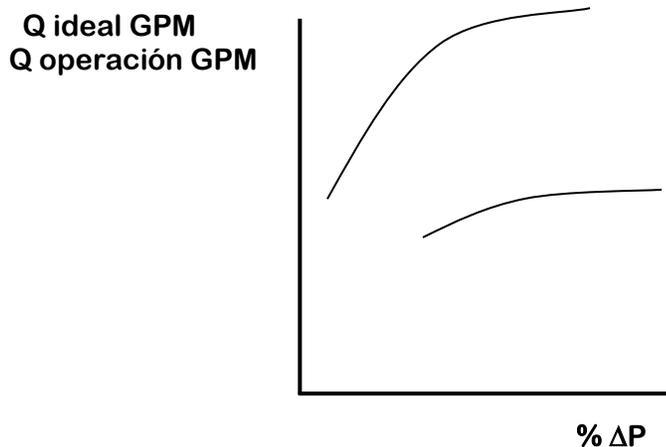
Tabla de Resultados Placa de Orificio (En Equipo Multilazo IMEPI)					
Corrida	$\Delta P$	$\Delta P$	Q ideal GPM	Q operación	
	in de H <sub>2</sub> O	%	$Q_{IDEAL} = \sqrt{\% \Delta P}$	LPM	GPM
1		9			
2		25			
3		36			
4		49			
5		64			
6		81			
7		100			



Información de la Placa de Orificio Instalada en el Laboratorio		
		in, cm
1	Tipo de placa de orificio	
2	Material de fabricación de la placa de orificio	
3	Tamaño nominal de la placa de orificio	
4	Espesor de la placa de orificio	
5	Tipo de toma de presión de la placa de orificio	
6	Diámetro del orificio de la placa	

#### Elaboración de la Gráfica.

- 1) Registrar en el eje de las "X" la Variable Medida (Entrada) o Valor Real de la Variable Medida ( $\% \Delta P$ ).
- 2) Registrar en el eje de las "Y" el Valor de Salida del Instrumento (Lecturas del Caudal ideal  $Q_{ideal}$  y del Caudal de Operación  $Q_{operación}$  en GPM).



#### 4.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).

#### 4.9 Conclusiones.

# PRACTICA 5

## POTENCIOMETRO PATRÓN





Contenido de la práctica.

- 5.1 Objetivo.
- 5.2 Síntesis de la teoría.
- 5.3 Equipo utilizado en la práctica.
- 5.4 Instructivo de operación de la práctica.
- 5.5 Tabla de datos experimentales.
- 5.6 Secuencia de cálculos.
- 5.7 Tabla de resultados, gráfica y tabla del termopar Tipo “J” de mV en función de temperatura.
- 5.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).
- 5.9 Conclusiones.

### 5.1 Objetivo.

Determinar el error de calibración de un receptor eléctrico.

### 5.2 Síntesis de la teoría.

#### Potenciómetro Patrón.

El potenciómetro patrón es un elemento secundario de medición empleado en la industria para medir temperaturas, calibrar pirómetros, revisar termopares y cables de extensión (mide los milivoltajes generados por los termopares). (StuDocu. (2022). Práctica 5. Termopares. <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-politecnico-nacional/instrumentacion-y-control/practica-5-termopares/46173656>)

El potenciómetro es un resistor eléctrico con un valor de resistencia variable y generalmente ajustable manualmente. Los potenciómetros utilizan tres terminales y se suelen utilizar en circuitos de poca corriente, para circuitos de mayor corriente se utilizan los reóstatos.

En muchos dispositivos eléctricos los potenciómetros son los que establecen el nivel de salida. Por ejemplo, en un altavoz el potenciómetro ajusta el volumen; en un televisor o un monitor de ordenador se puede utilizar para controlar el brillo.

#### Principio de operación.

- Mediante un circuito potenciométrico se compara el milivoltaje desconocido y generado por un termopar contra una fuente de valor conocido y regulado.
- Cuando ambos voltajes sean iguales y de signo opuesto no habrá corriente en el circuito del puente, el galvanómetro del instrumento indicará cero.
- Cuando las lecturas son obtenidas en milivoltios habrá que transformarlas a grados centígrados, con una previa compensación por temperatura ambiente, en las tablas correspondientes a cada tipo de termopar.

#### Termopares.

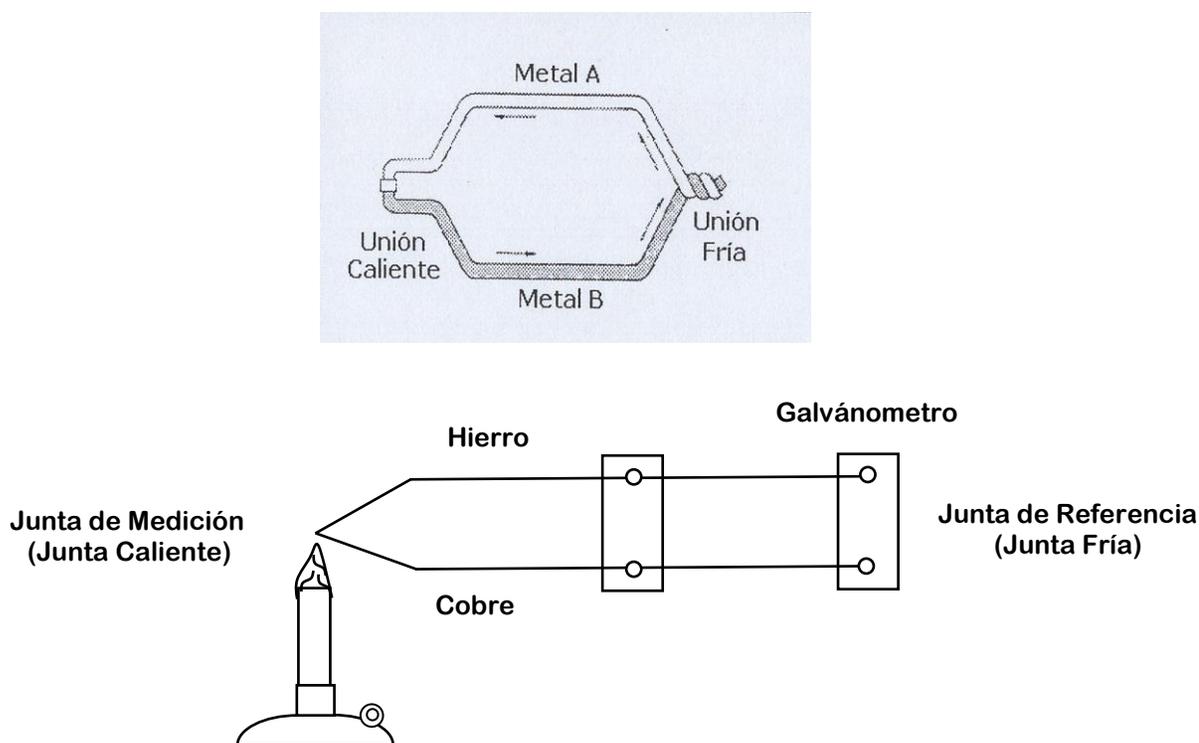
En el año de 1821, el físico alemán Thomas J. Seebeck (1770-1831) descubrió que, en un circuito eléctrico formado de dos materiales diferentes en forma de alambres (termopar), cuando las dos juntas tenían diferente temperatura se producía un potencial eléctrico o fuerza electromotriz (f.e.m.) entre las terminales del circuito abierto. Sin embargo, en caso de cerrar el circuito, se presenta el flujo de corriente eléctrica.

Es decir, si se unen por ambos extremos dos alambres de distinto material (a este circuito se denomina termopar), y una de las uniones se mantiene a una temperatura superior a la otra, surge una diferencia de potencial (f.e.m.) que hace fluir una corriente eléctrica entre las uniones caliente (Junta Caliente) y fría (Junta Fría). Ver figura 5.1.

La magnitud del potencial eléctrico (f.em.) depende de los materiales empleados y de la diferencia de temperatura entre la junta caliente (o de medición) y la junta fría (o de referencia). Ya que la corriente es una función de la diferencia de temperatura.

### Experimento.

Al amarrar retorciendo juntos los extremos de un alambre de cobre (alambre para timbre) y otro de hierro; cortar el alambre de cobre cerca del centro y conectar los extremos libres a un galvanómetro o a un micro-amperímetro. Se observará que dicho instrumento no indicará flujo de corriente alguna. Después mantenga una de las juntas a baja temperatura y caliente la otra junta con una vela o con un mechero Bunsen tal como se indica en la figura 5.1. Tan pronto como se realice esto la aguja del galvanómetro mencionado se moverá para indicar una corriente de varios microamperios (1 microamperio = una millonésima parte de amperio) circulando por dichos alambres. Mientras mayor sea la diferencia de temperatura entre ambas juntas, mayor será la corriente.



**Figura 5.1.** Corriente termoeléctrica resultante de la diferencia de temperaturas en uniones de metales diferentes (Termopar).



Por lo general se requiere efectuar la compensación por la terminal fría. Dicha compensación permite la realización de una medida absoluta de un cuerpo o un fluido. Por ejemplo, que el potencial (f.e.m.) de la salida de un objeto que está a 45 °C con una temperatura ambiente a 30 °C, será diferente de la obtenida con el mismo objeto a 45 °C y temperatura ambiente de -10 °C.

El objetivo de la compensación de la unión fría es pues, eliminar el efecto que produce la temperatura ambiente. La manera más inmediata, es la de sumarle los mV leídos en la tabla del tipo de termopar a medir a la temperatura ambiente, es decir:

$$\text{mV total (f.e.m.)} = \text{mV a temperatura ambiente leídos en tabla de termopar Tipo "J"} + \text{mV leídos en multímetro a la temperatura indicada en el receptor}$$

En atmósferas oxidantes que están a temperaturas elevadas, y en el caso de algunos gases y vapores, es necesario el uso de tubos de protección para evitar la degradación del termopar y los errores consecuentes en la indicación de temperatura.

#### **Tipos de termopares.**

La selección de los alambres para termopares se hace de forma que tengan una resistencia adecuada a la corrosión, a la oxidación, a la reducción y a la cristalización, que se desarrolle una f.e.m. relativamente alta, que sean estables, de bajo costo y de baja resistencia eléctrica y que la relación entre la temperatura y la f.e.m. sea tal que el aumento de esta sea (aproximadamente) paralelo al aumento de la temperatura.

Cada uno de los diferentes tipos de termopares de uso general, tienen características individuales que los hacen deseables para ciertas aplicaciones o inapropiados para otras. En la tabla 5.1, se muestran los diferentes tipos de termopares y sus características.

#### **Cables de extensión.**

Cuando el termopar está instalado a una distancia larga del instrumento, no se conecta directamente al mismo, sino por medio de un cable de extensión; estos cables de extensión son conductores con propiedades eléctricas similares a las del termopar hasta ciertos límites de temperatura (0 °C a 200 °C) y son más económicos. En la tabla 5.2, se muestra el código de colores de los cables de extensión para termopares.

La medición de temperatura por métodos eléctricos resulta ser muy conveniente, ya que estos métodos permiten obtener una señal que fácilmente puede detectarse, amplificarse o utilizarse para propósitos de control.



**Tabla 5.1 Diferentes Tipos de Termopares y sus Características.**

Tipo	Materiales	Rango	Características
J	Hierro-Constantán	-190 °C a 760 °C	Viable en temperaturas con escaso oxígeno libre. No debe usarse en atmósferas que contienen hidrógeno por el peligro de la fragilización del conductor de fierro.
T	Cobre-Constantán	-200 °C a 371°C	Tienen una elevada resistencia a la corrosión por la humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en vacío, en atmósfera inerte, atmósfera oxidante o atmósfera reductora.
K	Cromel-Alumel	-190 °C a 1260 °C	Se recomienda en atmósferas oxidantes, no debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas a menos que esté protegido con un tubo de protección.
E	Cromel-Constantán	-100 °C a 1260 °C	Viable usar en vacío, en atmósferas inertes u oxidantes. A temperaturas bajo cero no es sujeto a corrosión. Este termopar genera una f.e.m. más alta que cualquier otro.
S	90% Platino+ 10% Rodio-Platino	0 °C a 1482 °C	Viable en atmósferas oxidantes, el termopar debe protegerse con tubo cerámico, porque contaminan. No usarse en atmósferas reductoras.
R	87% Platino+ 13% Rodio-Platino	0 °C a 1482 °C	

**Tabla 5.2 Código de Colores de los Cables de Extensión para Termopares**

Tipo de Termopar	Cable de Extensión	Polo Positivo	Polo Negativo	Forro	Rango °C	Límites de Error
T	TX	Azul	Rojo	Azul	-60 a 80	10.75 % o ± 0.75
J	JX	Blanco	Rojo	Negro	-15 a 200	± 1.25 % o ± 2.00
E	EX	Amarillo	Rojo	Amarillo	-15 a 200	± 2.00 % o ± 1.50
K	KX	Café	Rojo	Rojo	-15 a 200	± 2.50 % o ± 2.00
R,S	SX	Negro	Rojo	Verde	-35 a 200	± 3.00 % o ± 4.00
W	WX	Verde	Rojo	Blanco	-35 a 200	± 3.50 % o ± 3.00

### Preguntas de Investigación

- 1) ¿Qué es, para qué sirve y cómo funciona del potenciómetro patrón?
- 2) ¿Qué es, para qué sirve y como funciona un termopar o termoeléctrico?
- 3) ¿Cuáles son los diferentes tipos de termopares, sus materiales, sus características y sus rangos de operación?
- 4) ¿Qué son los cables de extensión y cuándo se utilizan en los termopares?
- 5) ¿Cómo se identifican los diferentes cables de extensión, cuál es su código de colores, sus rangos de operación y sus límites de error?
- 6) ¿Qué es y para qué sirve un termopozo en los termopares?

### 5.3 Equipo utilizado en la práctica.

Termómetro de vidrio

Termopar tipo J

Multímetro para medir el voltaje en milivolts.

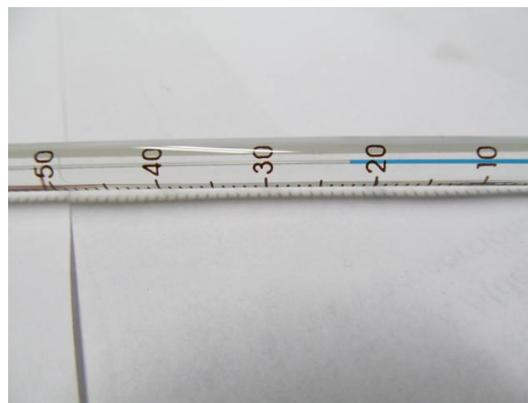
Receptor de temperatura (indicador de temperatura en °C)

Cerillos, una vela o veladora

Tabla del termopar tipo “J” que muestra las f.e.m (milivolts) del termopar en función de la temperatura en °C - Unión de referencia a 0 °C.

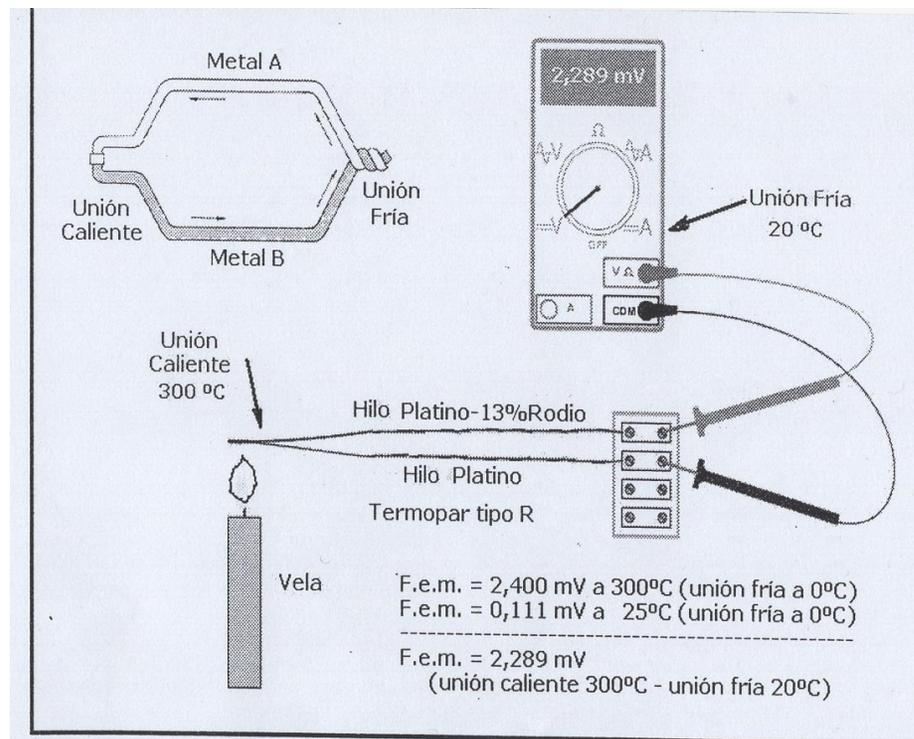
### 5.4 Instructivo de operación de la práctica.

- 1) Con el termómetro de vidrio tomar la temperatura del medio ambiente.



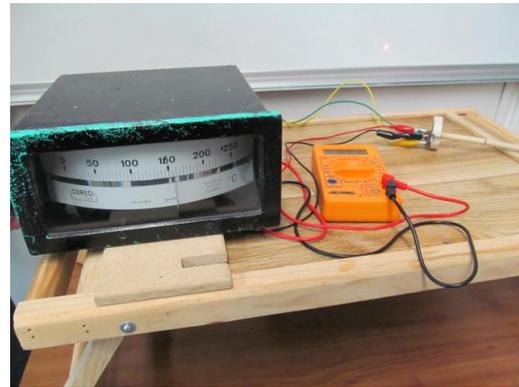
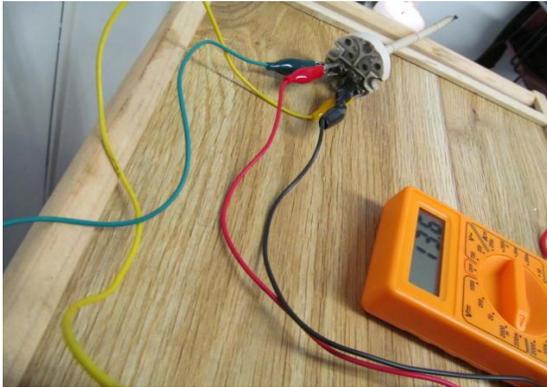
- 2) Buscar en tabla (ver página 114) del termopar tipo “J” los milivolts correspondientes a la temperatura ambiente y registrar en la tabla de datos experimentales.

- 3) Conectar cables de color negro y rojo a multímetro, el cable negro va en entrada COM.
- 4) Colocar la perilla indicadora del multímetro en corriente directa (V  $\overline{\text{DC}}$ ), en la opción de 200 m (para leer en milivolts).



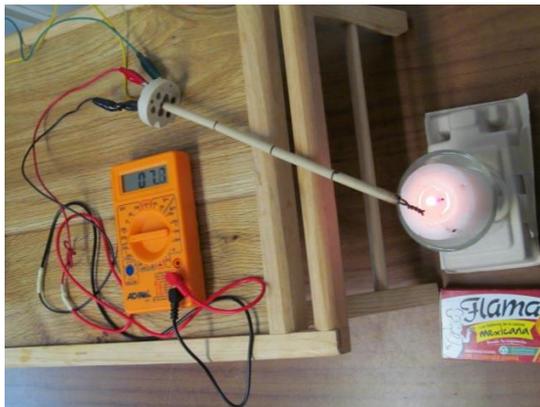
**Ejemplo de circulación de la corriente en un circuito cerrado formado por dos metales diferentes (Termopar Tipo R). (Creus, A. (2011). Instrumentación Industrial)**

- 5) Conectar tanto los dos cables del multímetro, como los dos cables del receptor de temperatura (indicador de temperatura °C) al termopar tipo “J”.



- 6) Encender una vela o una veladora.  
7) Calentar la junta de medición del termopar tipo “J”.  
8) Tomar lecturas de milivolts en el multímetro a diferentes valores de temperatura en el receptor de temperatura (25 °C, 50 °C, 75 °C, 100 °C, 125 °C, 150 °C, 175 °C, 200 °C, 225 °C).

Nota. Las lecturas de temperatura en el receptor deben realizarse a espejo, es decir en la sombra de la aguja observada en la cinta metálica.



- 9) Registrar en tabla de datos experimentales los de milivolts leídos en el multímetro a los diferentes valores temperaturas leídas en el receptor.  
10) Una vez terminado el experimento desconectar y guardar todo en su lugar.



### 5.5 Tabla de datos experimentales.

Tabla de Datos Experimentales Temperatura (Termopar Tipo "J")		
Temperatura ambiente =		
Voltaje leído en tabla del termopar Tipo "J" a la temperatura ambiente =		
Corrida	Temperatura leída en Receptor ° C	Voltaje leído en multímetro mV
1)	25	
2)	50	
3)	75	
4)	100	
5)	125	
6)	150	
7)	175	
8)	200	
9)	225	
10)	250	

### 5.6 Secuencia de cálculos.

- 1) Tomar la temperatura del medio ambiente y leer en tabla del termopar tipo "J" los milivolts correspondiente a dicha temperatura.
- 2) Calcular los milivolts totales  
milivolts totales = miliVolts leídos en tabla del termopar Tipo "J" a temperatura ambiente + miliVolts leídos en el multímetro a la temperatura del receptor (Indicador de temperatura)
- 3) Leer en tabla del termopar tipo "J" la temperatura correspondiente a los milivolts totales.



### 5.7 Tabla de Resultados y gráfica.

Tabla de Resultados Temperatura (Termopar Tipo "J")			
Voltaje total = mV a temperatura ambiente leídos en tabla de termopar Tipo "J" + mV leídos en multímetro a la temperatura indicada en el receptor			
Corrida	Temperatura leída en receptor °C	Voltaje total del termopar tipo "J" mV	Temperatura localizada en tabla del termopar tipo "J" en función del voltaje total °C
1)	25		
2)	50		
3)	75		
4)	100		
5)	125		
6)	150		
7)	175		
8)	200		
9)	225		
10)	250		

#### Elaboración de la Gráficas.

##### a) Gráfica 1.

- 1) Registrar en el eje de las "X" la Variable Medida (Entrada) o Valor Real de la Variable Medida (Lectura de temperatura con el receptor que es un indicador de temperatura en °C).
- 2) Registrar en el eje de las "Y" el Valor de Salida del Instrumento (Voltaje total del Termopar Tipo "J" en mV)

##### b) Gráfica 2.

- 1) Registrar en el eje de las "X" la Variable Medida (Entrada) o Valor Real de la Variable Medida (Lectura de temperatura con el receptor que es un indicador de temperatura en °C).
- 2) Registrar en el eje de las "Y" el Valor de Salida del Instrumento (Lectura de Temperatura localizada en la tabla del Termopar Tipo "J" correspondiente al Voltaje Total en °C)



Voltaje total del  
Termopar Tipo “J”  
en mV



Temperatura leída en  
Tabla de Termopar tipo “J”  
en °C



Se anexa Tabla de milivolts (mV) en función de la Temperatura para el Termopar Tipo “J”.  
(Creus, A. (2011). Instrumentación Industrial)



**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**  
**PRÁCTICA 5.**  
**POTENCIÓMETRO PATRÓN**



**Instrumentación Industrial**

**Termopar tipo J - f.e.m. en mV (ITS-90)**

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-140	-6.159	-6.194	-6.229	-6.263	-6.298	-6.332	-6.366	-6.400	-6.433	-6.467	-6.500
-130	-5.801	-5.838	-5.874	-5.910	-5.946	-5.982	-6.018	-6.054	-6.089	-6.124	-6.159
-120	-5.426	-5.465	-5.503	-5.541	-5.578	-5.616	-5.653	-5.690	-5.727	-5.764	-5.801
-110	-5.037	-5.076	-5.116	-5.155	-5.194	-5.233	-5.272	-5.311	-5.350	-5.388	-5.426
-100	-4.633	-4.674	-4.714	-4.755	-4.796	-4.836	-4.877	-4.917	-4.957	-4.997	-5.037
-90	-4.215	-4.257	-4.300	-4.342	-4.384	-4.425	-4.467	-4.509	-4.550	-4.591	-4.633
-80	-3.786	-3.829	-3.872	-3.916	-3.959	-4.002	-4.045	-4.088	-4.130	-4.173	-4.215
-70	-3.344	-3.389	-3.434	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742	-3.786
-60	-2.893	-2.938	-2.984	-3.029	-3.075	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.300	-3.344
-50	-2.431	-2.478	-2.524	-2.571	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847	-2.893
-40	-1.961	-2.008	-2.055	-2.103	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.385	-2.431
-30	-1.482	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913	-1.961
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.142	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433	-1.482
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.749	-0.798	-0.847	-0.896	-0.946	-0.995
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451	-0.501
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062	3.116
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596	3.650
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133	4.187
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672	4.726
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215	5.269
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759	5.814
110	5.814	5.868	5.923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306	6.360
120	6.360	6.415	6.470	6.525	6.579	6.634	6.689	6.744	6.799	6.854	6.909
130	6.909	6.964	7.019	7.074	7.129	7.184	7.239	7.294	7.349	7.404	7.459
140	7.459	7.514	7.569	7.624	7.679	7.734	7.789	7.844	7.900	7.955	8.010
150	8.010	8.065	8.120	8.175	8.231	8.286	8.341	8.396	8.452	8.507	8.562
160	8.562	8.618	8.673	8.728	8.783	8.839	8.894	8.949	9.005	9.060	9.115
170	9.115	9.171	9.226	9.282	9.337	9.392	9.448	9.503	9.559	9.614	9.669
180	9.669	9.725	9.780	9.836	9.891	9.947	10.002	10.057	10.113	10.168	10.224
190	10.224	10.279	10.335	10.390	10.446	10.501	10.557	10.612	10.668	10.723	10.779
200	10.779	10.834	10.890	10.945	11.001	11.056	11.112	11.167	11.223	11.278	11.334
210	11.334	11.389	11.445	11.501	11.556	11.612	11.667	11.723	11.778	11.834	11.889
220	11.889	11.945	12.000	12.056	12.111	12.167	12.222	12.278	12.334	12.389	12.445
230	12.445	12.500	12.556	12.611	12.667	12.722	12.778	12.833	12.889	12.944	13.000
240	13.000	13.056	13.111	13.167	13.222	13.278	13.333	13.389	13.444	13.500	13.555
250	13.555	13.611	13.666	13.722	13.777	13.833	13.888	13.944	13.999	14.055	14.110
260	14.110	14.166	14.221	14.277	14.332	14.388	14.443	14.499	14.554	14.609	14.665
270	14.665	14.720	14.776	14.831	14.887	14.942	14.998	15.053	15.109	15.164	15.219

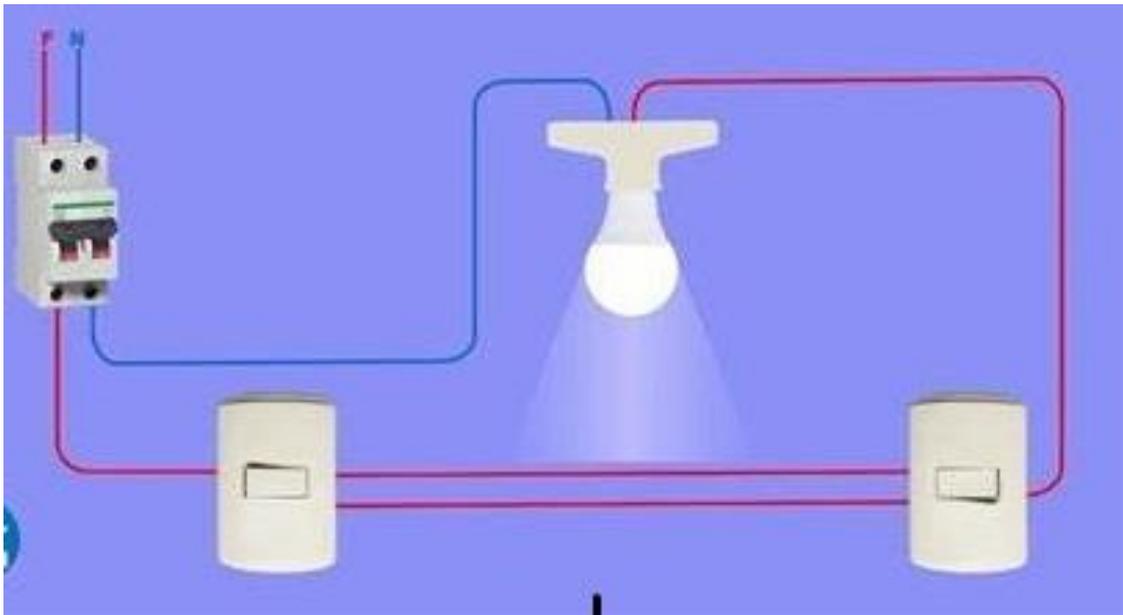


## **5.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).**

## **5.9 Conclusiones.**

# PRACTICA 6

## MODO DE CONTROL 2 POSICIONES (ON-OFF) Y CON DIFERENCIAL





## Contenido de la práctica.

- 6.1 Objetivo.
- 6.2 Síntesis de la teoría.
- 6.3 Equipo utilizado en la práctica.
- 6.4 Instructivo de operación de la práctica.
- 6.5 Tabla de datos experimentales.
- 6.6 Secuencia de cálculos.
- 6.7 Tabla de resultados y gráfica.
- 6.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).
- 6.9 Conclusiones.

### 6.1 Objetivo.

Observar su funcionamiento y dar aplicaciones del mismo.

### 6.2 Síntesis de la teoría.

#### **Instrumentos básicos de un circuito de control.**

El circuito de control típico está formado por el proceso, el sensor, el transmisor, el receptor (indicador y/o registrador), el controlador y la válvula de control. (Ávalos, G. et al. (2002). Teoría de Control.)

#### **Función del Controlador.**

El controlador permite al proceso cumplir su objetivo de transformación del material y realiza dos funciones esenciales:

- a) Comparar la variable medida o variable de proceso (PV) con el set point (SP) también conocido como punto de referencia, valor deseado, punto de ajuste o punto de consiga para determinar si hay un error o desviación.
- b) Estabilizar el funcionamiento dinámico del circuito de control mediante circuitos especiales (acciones de control, modos de control o algoritmos de control) para reducir o eliminar el error.

#### **Efectos del proceso.**

Al seleccionar un controlador es necesario tomar en cuenta los siguientes efectos del proceso:

- 1) Los cambios de carga, que son los cambios en la variable controlada debido a la alteración de las condiciones en el proceso.
- 2) El retraso del proceso, o sea, la demora que le toma a la variable del proceso alcanzar un nuevo valor cuando el cambio de carga ocurre. Este retraso es causado por una o más de las características del proceso: capacitancia, resistencia y tiempo muerto.

#### **Carga de proceso.**

Es la cantidad total de agente de control requerido por el proceso en cualquier momento para mantener unas condiciones de trabajo equilibradas.

### Agente de control.

Por ejemplo, si tenemos en un cambiador de calor un fluido en circulación que es calentado continuamente con vapor (agente de control), se requiere de cierta cantidad de vapor para mantener la temperatura del fluido a un valor dado (set point).

En la figura 6.1, se muestra un sistema de control (Intercambiador de calor) y sus componentes básicos. El primer paso es medir la temperatura de salida de la corriente de proceso, esto se hace mediante un sensor (termopar, dispositivo de resistencia térmica, termómetros de sistema lleno, termistores, etcétera). El sensor se conecta físicamente al transmisor, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal de salida lo suficientemente intensa como para transmitirla al controlador.

El controlador recibe la señal que está en relación con la temperatura, la compara con el valor que se desea y, según el resultado de la comparación, decide que hacer para mantener la temperatura en el valor deseado. Con base en la decisión, el controlador envía otra señal de salida al elemento final de control, el cual, a su vez, maneja el flujo de vapor.

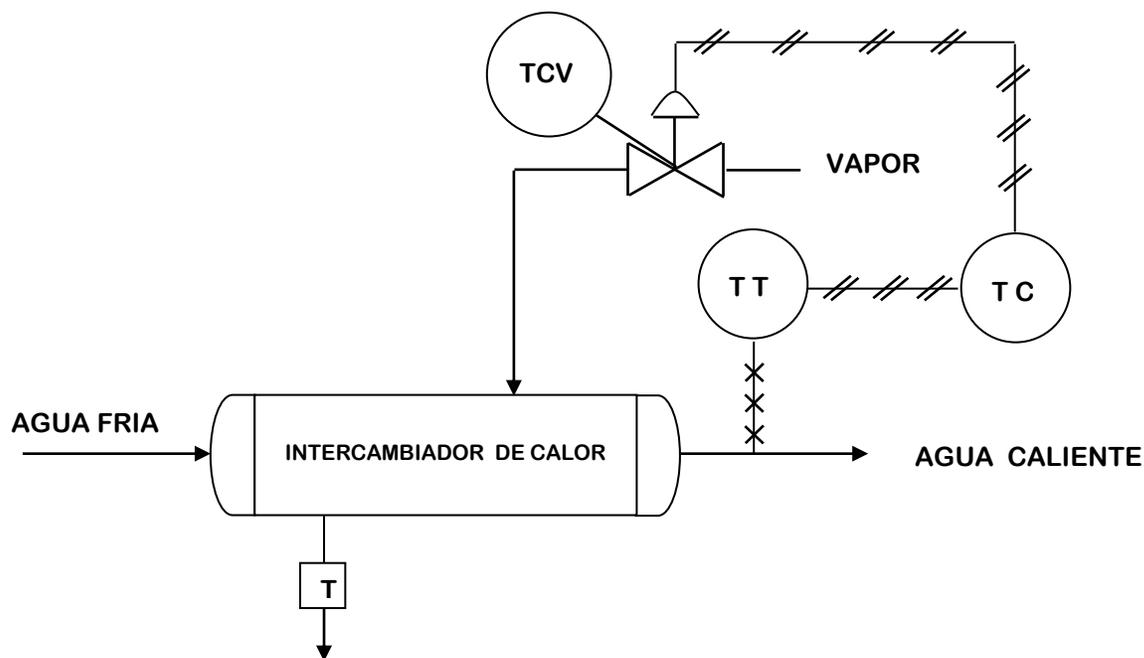


Figura 6.1. Sistema de Control de un Intercambiador de Calor.



Un incremento en el volumen del fluido requiere más vapor y por consiguiente constituye un cambio de carga del proceso. Si aumenta la temperatura ambiente y el fluido llega a mayor temperatura, se requerirá entonces menos vapor y es también un cambio de carga.

La carga de proceso está directamente relacionada con la posición del elemento final de control. Cualquier cambio de carga del proceso ocasiona un cambio en la posición del elemento final de control para mantener la variable controlada en el punto de ajuste o valor deseado. (Díaz, R. (1999). Laboratorio de Instrumentación y Control.)

### Fuentes de cambio de carga.

Los cambios de carga en un proceso no son fáciles de reconocer, algunos ejemplos son:

- 1) El medio controlado demanda mayor o menor cantidad de agente de control como en un cambiador de calor donde un incremento en el volumen del fluido o en la temperatura del fluido a la entrada del cambiador constituye un cambio de carga.
- 2) Cambio en las condiciones ambientales climatológicas afectan al proceso, pues un incremento o disminución en la temperatura ambiente ocasionará que se requiera mayor o menor cantidad de vapor para mantener la temperatura del proceso.
- 3) Si el proceso es exotérmico o endotérmico representa también un cambio de carga, porque el monto del calor generado o absorbido por la reacción química varía requiriéndose mayor o menor cantidad de agente de control.

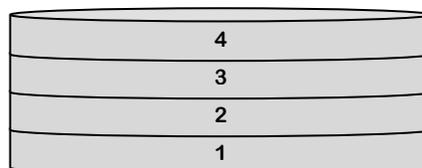
### Capacidad.

La capacidad de un proceso es una medición de su habilidad para mantener o contener energía o material.

Creus Solé, A. (2011), Instrumentación Industrial, 8ª Edición. Editorial Alfaomega Grupo Editor.

**Capacitancia.** La capacitancia de un proceso es una medición de su habilidad para mantener una cantidad de energía o material por cantidad unitaria de alguna variable de referencia. Por ejemplo, dos depósitos cilíndricos de 100 m<sup>3</sup> de capacidad:

Depósito	Volumen o capacidad m <sup>3</sup>	Diámetro m	Altura m	Capacitancia m <sup>3</sup> /m de nivel
1	100	4	8	12.5
2	100	5.64	4	25



$$\text{Capacitancia} = \frac{\text{Capacidad}}{\text{Nivel}} = \frac{100 \text{ m}^3}{8 \text{ m nivel}} = 12.5 \frac{\text{m}^3}{\text{m de nivel}}$$

$$\text{Capacitancia} = \frac{\text{Capacidad}}{\text{Nivel}} = \frac{100 \text{ m}^3}{4 \text{ m nivel}} = 25 \frac{\text{m}^3}{\text{m de nivel}}$$

### Capacitancia térmica.

Está definida como las calorías que absorbe un cuerpo por grado centígrado de temperatura.

### Capacitancia volumétrica.

Está definida por los metros cúbicos de sólidos o líquidos que pueden ser almacenados en un recipiente por metro de incremento en el nivel. En el caso de gases, son los metros cúbicos estándar bajo condiciones estándar por cambio en la presión en kg/cm<sup>2</sup>.

### Capacitancia en peso.

Está definida como los kilogramos de sólidos o líquidos que pueden ser almacenados en un recipiente por metro de incremento en el nivel.

### Capacitancia eléctrica.

Es el cambio de la carga de un capacitor expresada en microfaradios por voltios a través de sus terminales.

### Relación de la capacitancia con el retraso en el proceso.

En cualquier proceso, ya sea continuo o discontinuo, una capacitancia grande en relación con el flujo del agente de control puede ser favorable al control automático.

Un proceso de capacitancia relativamente grande tiende a mantener constante, el valor de la variable controlada pese a los cambios de carga. En otras palabras, una capacitancia grande hará fácil mantener la variable a un valor deseado pero por otra parte, hará más difícil cambiar la variable a un nuevo valor.



### **Resistencia.**

La resistencia es el segundo tipo básico de retraso en un proceso, y se define como la oposición al flujo. Se expresa en unidades de cambio de potencial (diferencia de potencial) que es requerido para producir una unidad de cambio en el flujo.

### **La resistencia térmica.**

La resistencia térmica es el cambio de temperatura que ocurre por unidad de rango de flujo de calor.

### **Tiempo muerto y retraso en procesos.**

Un tercer tipo de retraso llamado tiempo muerto ocurre con frecuencia en procesos continuos donde es necesario transferir calor o algún otro tipo de energía por medio de un fluido que circula a través de cierta distancia a una determinada velocidad.

Aún en condiciones ideales donde a cada variable la consideramos con valores fijos, si ocurre un cambio en la temperatura de entrada y si el elemento primario de medición está localizado en la línea de salida, habrá un retraso considerable en la detección de un cambio de la temperatura, este retraso es tiempo muerto.

Cualquier cambio en el calor de entrada tendrá el mismo tiempo muerto antes de que sea reflejado en el elemento primario y la acción de control se retrasará en ese espacio de tiempo.

El tiempo muerto también se incrementa mientras mayor sea la distancia que exista entre el elemento primario de medición y el controlador, así como la distancia entre el controlador y la válvula de control.

### **Comportamiento del controlador de 2 posiciones (on-off).**

En esta forma de control, si la variable de proceso se sale del valor deseado (punto de ajuste, punto de referencia o set point), el elemento final de control (una válvula de control) se abre y se cierra totalmente, que se caracteriza por un ciclo continuo.

El controlador reacciona a valores fijos de la variable controlada o variable de proceso y no reconoce magnitud o velocidad de la desviación.

Este tipo de controlador se emplea usualmente con una banda diferencial, zona neutra o zona muerta en la que el elemento final de control permanece en su última posición para valores de la variable de proceso (PV) comprendidos dentro de la banda diferencial.

### **Acción Directa del Controlador.**

Al aumentar la variable de proceso (PV) con respecto al punto de ajuste o set point (SP), aumenta la señal de salida del controlador es decir se abre el elemento final de control (una válvula de control).



### **Acción Inversa del Controlador.**

Al aumentar la variable de proceso (PV) con respecto al punto de ajuste o set point (SP), disminuye la señal de salida del controlador es decir se cierra el elemento final de control (una válvula de control).

### **Periodo del ciclo en el control de 2 posiciones (on-off).**

- 1) Aumenta con una velocidad de reacción menor.
- 2) Aumenta con los atrasos en la transmisión.
- 3) Aumenta con el tiempo muerto.
- 4) Aumenta con la banda diferencial o zona neutra del controlador.

Un proceso con velocidad de respuesta lenta permite tener un control de dos posiciones bastante exacto. Pero si el periodo fuese muy largo debido a una velocidad de respuesta muy baja, el controlador reaccionaría demasiado lento para un cambio de carga o para un cambio en el punto de ajuste. Para un periodo de 30 minutos, por ejemplo, la variable controlada tardaría en estabilizarse de 1 a 1.5 horas.

### **Ejemplos de controladores de 2 posiciones (on-off).**

Los controladores de dos posiciones (on-off) más usados son del tipo eléctrico o electrónico.

El elemento final de control suele ser:

- ♣ un relevador eléctrico,
- ♣ una válvula solenoide, o
- ♣ un motor que opera una válvula.

El mecanismo de control es tal que los contactos se abren y cierran cuando la variable pasa por el punto de ajuste.

Estos contactos son llamados alto y bajo, y la diferencial entre ellos constituye un pequeño porcentaje de la escala total. En la mayoría de los controladores eléctricos de 2 posiciones la diferencial constituye más o menos del 1 % al 2 % de la escala total.

- a) El compresor para medir la presión con diferencial,
- b) La bomba para medir la diferencial de nivel en un tanque.
- c) El alumbrado público. Ya que éste enciende cuando la luz ambiental es más baja que un predestinado nivel de luminosidad y se apaga cuando pasa lo contrario.
- d) El control de la temperatura en un refrigerador (nevera). Consiste en activar el mando de enfriamiento cuando la temperatura está por encima de la temperatura deseada (set point) y luego desactivarlo cuando la temperatura esté por debajo.



### Preguntas de investigación.

- 1) ¿Qué es el controlador de 2 posiciones (on-off)?
- 2) ¿Cuáles son las características del controlador on-off?
- 3) ¿En qué consiste la acción directa y la acción inversa de un controlador?
- 4) ¿Qué es la diferencial, zona neutra o zona muerta?
- 5) Cite ejemplos de aplicación del controlador on-off

### 6.3 Equipo utilizado en la práctica.

Planta Plint

4 cables para interconectar el circuito de control

Equipo Multilazo IMEPI (capacidad del tanque de medición 280 litros)

Compresor de aire

### 6.4 Instructivo de operación de la práctica.

#### A) En Planta Plint.

- 1) Purgar o drenar el agua condensada acumulada dentro del compresor de aire (abrir un poco la válvula de compuerta VC1). Con el objeto de obtener un aire más limpio a la salida del compresor. Revisar previamente el nivel de aceite.



- 2) Abrir válvula de bola VB1 o válvula de paso (girar hacia la izquierda).



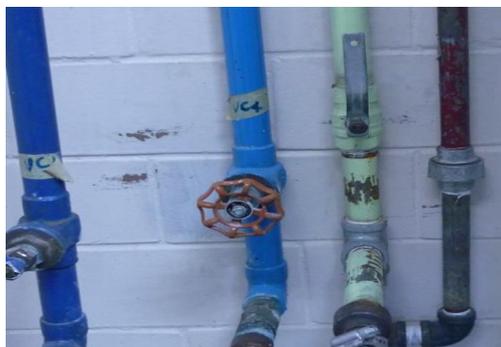
3) Accionar botón verde.



4) Accionar 3 interruptores (los de arriba y los de abajo). Desplazarlos hacia la derecha.



5) Abrir válvula principal de suministro de aire, ubicada en la pared del lado derecho del compresor (válvula de bola de tubería verde, girar hacia arriba).

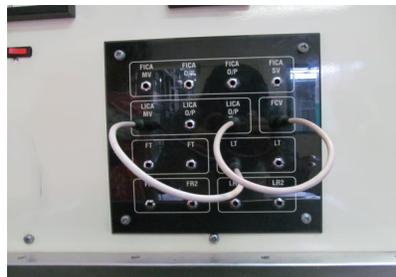


6) Accionar interruptor principal (desplazar hacia arriba).



7) Colocar los cables de interconexión LT a LICA MV y de LICA O/P a FCV.

FICA MV	FICA O/P	FICA O/P	FICA SV
LICA MV	LICA O/P	LICA O/P	FCV
FT	FT	LT	LT
FR1	FR2	LR1	LR2



8) Abrir válvula de alimentación de aire al equipo de control VB3, línea de tubería verde (girar hacia abajo).



9) Encender equipo, girar perilla rojo con amarillo, hacia la derecha.



10) Cerciorarse de que esté abierta la válvula de bola VB4 del filtro de aire y que el manómetro marque una lectura de 2 bar de presión.



- 11) Accionar la bomba presionando botón verde y observar que ascienda o descienda el valor del nivel en el controlador LICA.



- 12) Cerciorarse de que la válvula de recirculación HV5 esté completamente abierta.



- 13) En el programa del controlador LICA fijar las condiciones de trabajo por ejemplo, para el punto de ajuste un valor del 50 % (50.0 SP LOC), con el valor de la banda proporcional en cero (0.0 Prop). Para ello es importante tomar en cuenta lo siguiente:
- Verificar que el Programa LICA este en posición automático y no en manual (MAN), en caso contrario oprimir el botón A/M.
  - Para ENTRAR al programa del controlador LICA se mantiene oprimida la flecha izquierda hasta que aparezca el menú. Para ver cada uno de los parámetros de las condiciones de operación se oprime el botón derecho una vez.
  - Para MODIFICAR el valor de un parámetro se oprime la flecha hacia arriba si se quiere aumentar y la flecha hacia abajo para disminuir el valor del parámetro a modificar.
  - Para SALIR del programa de igual manera se mantiene oprimido el botón izquierdo hasta que aparezca SP u OP según se desee.



- 14) Con un cronómetro tomar el tiempo que tarda la variable de proceso del valor mínimo al valor máximo y del valor máximo al valor mínimo de la variable de proceso. Realizar 3 lecturas y sacar el promedio. Este paso sirve para establecer el tiempo del periodo.
- 15) Registrar lecturas en tabla de datos experimentales de la variable de proceso (el valor máximo y el valor mínimo). Así como el tiempo que tarda en pasar del valor mínimo al valor máximo de la variable de proceso.

<b>50.0</b> <b>SP LOC</b>	<b>OFF</b> <b>IAt</b>	La siguiente imagen muestra el display del controlador LICA en SP (punto de ajuste o set point)
<b>OFF</b> <b>rAtE</b>	<b>0.0</b> <b>rESEt</b>	
<b>0.1</b> <b>thr ES</b>	<b>OFF</b> <b>dAt</b>	La siguiente imagen muestra el display del controlador LICA en OP (señal de salida del controlador)
<b>OFF</b> <b>P ton E</b>	<b>100.0</b> <b>H PL</b>	
<b>OFF</b> <b>A ton E</b>	<b>0.0</b> <b>L PL</b>	La siguiente imagen muestra el display del controlador LICA en OP (señal de salida del controlador)
<b>0.0</b> <b>Prop</b>		

**51.2 (% E)**

**SP**

**50.0 (% P)**

**69.2 (% E)**

**OP**

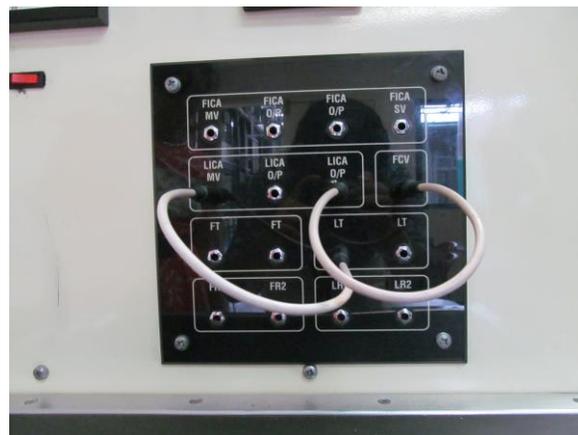
**70.0 (% Y)**

- 16) Registrar el tiempo que tarda en pasar del valor máximo al valor mínimo de la variable de proceso.
- 17) Modificar el valor del punto de ajuste entre 60 y 80 %.
- 18) Registrar lecturas en tabla de datos experimentales de la variable de proceso (el valor máximo y el valor mínimo).

- 19) Registrar el tiempo que tarda en pasar del valor mínimo al máximo de la variable de proceso.
- 20) Registrar el tiempo que tarda en pasar del valor máximo al valor mínimo de la variable de proceso.
- 21) Una vez terminadas las lecturas apagar bomba (presionando botón rojo).



- 22) Apagar el equipo, girar perilla rojo con amarillo, hacia la izquierda, quitar conexiones y apagar el compresor desactivando primero el interruptor principal.



- 23) Con los resultados obtenidos elaborar 4 gráficas tiempo en segundos en el eje de las "X" y el nivel en el eje de las "Y" y obtenga el análisis de resultados por cambio de carga en demanda y en posición del punto de ajuste o set point.

**B) En Equipo Multilazo IMEPI (Instructivo de operación).**

- 1) Poner en servicio el compresor de aire. Revisar previamente el nivel de aceite.
- 2) Accionar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo, ubicados en la parte trasera del equipo Multilazo.



- 3) Abrir válvula de bola de tubería blanca para el suministro de aire al equipo, verificar que la presión no sea menor a 90 psig.



- 4) Revisar que las válvulas manuales para drenar los tanques estén cerradas.
- 5) Verificar en el tablero de control que el selector esté en la posición de “PLC”, cuando el control del sistema se realice con el Controlador Lógico Programable y con la estación del software Aurora HMI SCADA. Y el Selector de la variable de proceso esté en Nivel “L”





- 6) Desactivar el botón Paro de Emergencia (PE). Jalar el botón hacia uno.



- 7) Oprimir el Botón de Encendido para energizar el tablero de control. Si se escucha un ruido es la alarma, oprimir botón REC AL (Reconoce Alarma) que está en el Tablero de Control, para desactivar la alarma, o también se puede hacer en la pantalla de la computadora en el cuadro que dice Reconoce Alarma Sonora.



- 8) Encender computadora y esperar.  
9) Dar doble clic en el Programa Aurora HMI SCADA.  
10) Aparece cuadro que dice: Select Directory dar clic en Cerrar.  
11) Dar clic en PRINCIPAL, y seleccionar la primera opción en PROYECTOS RECIENTES.  
12) Aparece en la pantalla de la computadora un diagrama con 3 tanques.



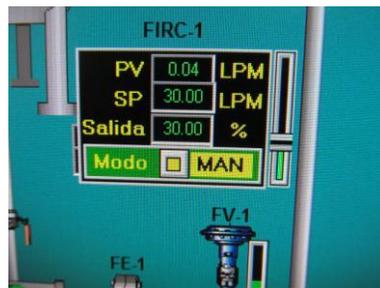
- 13) Dar clic en RUNTIME del menú principal y seleccionar IR A TIEMPO DE EJECUCIÓN, aparecerán 2 tanques.



- 14) Verificar que los niveles de agua en los tanques T1 y T2 tengan aproximadamente el 50 % de agua, en caso necesario abrir válvulas de bola manuales HV, HV-1 de suministro de agua al tanque T1 y en el programa Aurora HMI SCADA abrir la válvula de bola neumática V-6 (dar clic sobre la válvula).



- 15) En el controlador registrador indicador de flujo FIRC-1. Activar modo manual.  
16) En el controlador registrador indicador de nivel LIRC-2. Activar modo automático.



- 17) Seleccionar la opción que más le agrade para la dirección del flujo de agua.  
**SELECTOR 1**  
a) TRANSFERIR a T1 Nota: Sí se elige ésta opción, verificar que también esté abierta la válvula manual HV5.  
b) TRANSFERIR a T2  
c) TRANSFERIR T1 y T2

**SELECTOR 2**

LIC-2 el cuadro debe estar en color azul claro (controlando nivel).

- 18) Activar la Opción TRANSFERIR T1 y T2.

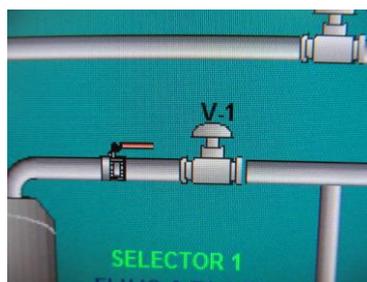


SELECTOR 1	SELECTOR 2
<input type="checkbox"/> TRANSFERIR T1 y T2 Verde claro	<input type="checkbox"/> LIC 2 <input type="checkbox"/> Azul claro Controlando Nivel

- 19) En el controlador registrador indicador de flujo (FIRC-1)
  - a) Modificar la señal de salida del controlador a 50 %.
  - b) Modificar el punto de ajuste SP a 30 %.
- 20) En el controlador registrador indicador de nivel (LIRC-2)
  - a) Modificar el punto de ajuste SP a 60 %.

FIRC-1	LIRC-2
PV= SP= 30 % Salida = 50 % Modo <input type="checkbox"/> Manual Verde claro	PV= SP= 60 % Salida = 0.01 % Modo <input type="checkbox"/> Auto Azul claro

- 21) Comprobar en pantalla de operación y físicamente, que las válvulas de bola neumáticas: V-1 esté cerrada y V-2 esté abierta.





22) Dar clic en SINTONÍA, la cual se encuentra en la parte inferior derecha y deben estar las siguientes condiciones.

En Sintonía					
CONTROL DE FLUJO			CONTROL DE NIVEL		
SP	PV	SALIDA	SP	PV	SALIDA
FLUJO			NIVEL		
Kc = 0.70 Ti = 2.00 minutos/repeticiones Td = <input type="text"/>			Kc = 6000 Ti = 0.0 Td = <input type="text"/>		
Acción  Directa verde			Acción  Directa Amarillo		

23) Dar clic en TANQUES.

24) Accionar Interruptores de las bombas 1 y 2 (dar clic en BA1 y BA2).



25) Esperar a que se establezcan las lecturas de la variable de proceso PV mínimo y PV máximo en el Controlador Registrador Indicador de Nivel (LIRC-2).

26) Tomar lecturas de la variable de proceso PV mínimo, PV máximo y el Tiempo que tarda en transcurrir del valor mínimo al valor máximo de la variable de proceso y viceversa.

27) Registrar lecturas en la tabla de datos experimentales.

28) Fijar otro punto de ajuste, esperar a que se establezcan las lecturas de la variable de proceso PV mínimo y PV máximo en el Controlador Registrador Indicador de Nivel (LIRC-2).



- 29) Tomar lecturas de la variable de proceso PV mínimo, PV máximo y el Tiempo que tarda en transcurrir del valor mínimo al valor máximo de la variable de proceso y viceversa.
- 30) Registrar lecturas en la tabla de datos experimentales.
- 31) Una vez terminadas las lecturas Desactivar Interruptores de las bombas 1 y 2 (dar clic en BP1 y BP2).



- 32) En el controlador registrador indicador de nivel LIRC-2 Aurora HMI SCADA.
  - a) Modificar SP a 0 %.
  - b) Activar Modo manual
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0 %.
- 33) En el controlador registrador indicador de flujo FIRC-1 Aurora HMI SCADA.
  - a) Modificar SP a 0%
  - b) Activar Modo manual
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0 %.



- 34) Dejar ambos Selectores Aurora HMI SCADA en la opción FUERA.





- 35) Cerrar válvula de bola manual de tubería blanca para quitar el suministro de aire al equipo y válvula de bola manual de tubería azul de suministro de agua al tanque de alimentación, en caso de que ésta se haya abierto.



- 36) Dar clic en PRINCIPAL.  
37) Seleccionar SALIR para cerrar programa sin guardar cambios.  
38) Aparece letrero que dice: NO SE HAN GUARDADO LOS CAMBIOS A ESTE PROYECTO ¿DESEA GUARDARLOS?  
39) Dar clic en respuesta NO.  
40) Aparece letrero que dice: ¿DESEA TERMINAR LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO?  
41) Dar clic en respuesta YES.  
42) Dar clic en INICIO y seleccionar APAGAR EQUIPO.  
43) Presionar botón Paro de Emergencia (PE).



- 44) Desactivar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo.  
45) Desactivar servicio del compresor de aire.



### 6.5 Tabla de datos experimentales.

Tabla de Datos Experimentales Modo de Control ON-OFF				
Variable de Proceso (PV): Nivel				
Set Point (SP) =				
Corrida	Variable de Proceso PVmínimo %	Variable de Proceso PVmáximo %	Tiempo t PV mínimo al PV máximo seg	Tiempo t PV máximo al PV mínimo seg
1				
2				
3				
Promedio				

#### NOTA.

- a) Escuchar y observar en qué momento se abre totalmente la válvula de control y en qué momento se cierra totalmente.
- b) Repetir tabla para diferentes puntos de ajuste.

### 6.6 Secuencia de cálculos.

#### 1) Sacar el promedio del:

- a) Valor máximo de la variable de proceso.

$$\text{Promedio PV máximo} = (\text{PV máximo1} + \text{PV máximo2} + \text{PV máximo1}) / 3$$

- b) Valor mínimo de la variable de proceso.

$$\text{Promedio PV mínimo} = (\text{PV mínimo1} + \text{PV mínimo2} + \text{PV mínimo1}) / 3$$

- c) Tiempo que tarda en pasar del valor mínimo al valor máximo de la variable de proceso.

$$\text{Promedio } t \text{ PV mínimo al PV máximo} = (t1 \text{ PV mínimo al PV máximo} + t2 \text{ PV mínimo al PV máximo} + t3 \text{ PV mínimo al PV máximo}) / 3$$



d) Tiempo que tarda en pasar del valor mínimo al valor máximo de la variable de proceso.

$$\text{Promedio } t_{\text{PV máximo al PV mínimo}} = (t_1 \text{ PV máximo al PV mínimo} + t_2 \text{ PV máximo al PV mínimo} + t_3 \text{ PV máximo al PV mínimo}) / 3$$

2) Calcular la banda diferencial, zona neutra, zona muerta o diferencial.

$$\text{Banda diferencial o Zona neutra} = \text{PV máximo} - \text{PV mínimo}$$

3) Calcular la Amplitud del ciclo.

$$\text{Amplitud del ciclo} = \text{PV máximo} - \text{Set Point}$$

4) Calcular el periodo del ciclo.

$$\text{Periodo} = t_{\text{PV mínimo al PV máximo}} + t_{\text{PV máximo al PV mínimo}}$$

### 6.7 Tabla de resultados y gráfica.

Tabla de Resultados Modo de Control ON-OFF				
Variable de Proceso (PV): Nivel				
Set Point (SP) =				
	Variable de Proceso PV mínimo %	Variable de Proceso PV máximo %	Tiempo $t_{\text{PV mínimo al PV máximo}}$ seg	Tiempo $t_{\text{PV máximo al PV mínimo}}$ seg
Promedio				

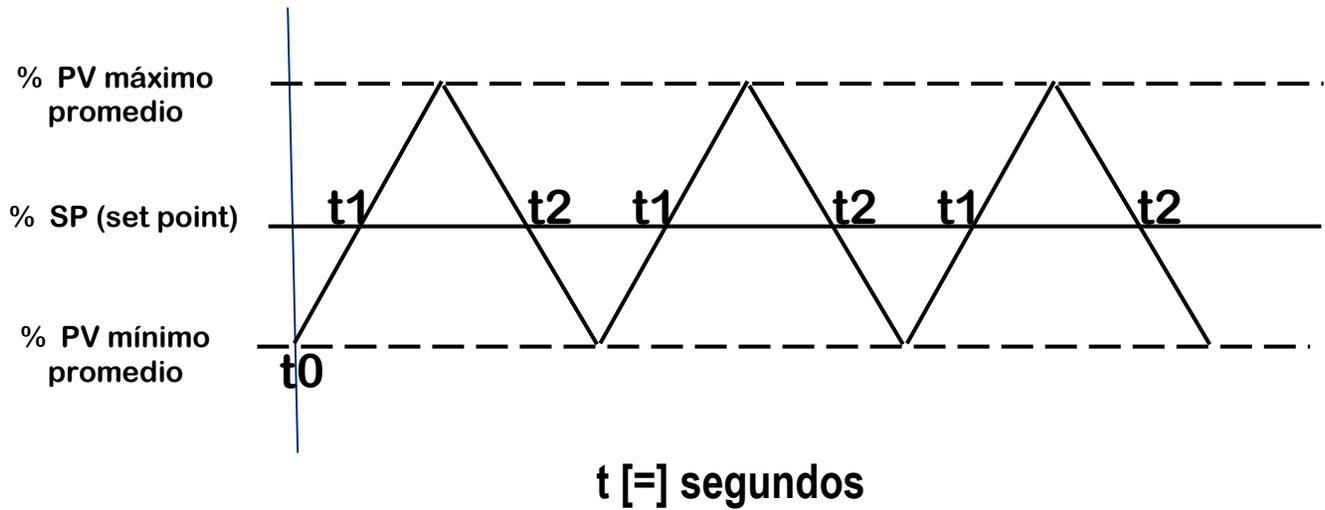


Tabla de Resultados Modo de Control 2 Posiciones (ON-OFF) (continuación)		
Set Point (SP) =		
Valor de la Banda Diferencial o Zona Neutra		
Valor de la Amplitud del ciclo		
Valor del Periodo del ciclo		
Tipo de Acción del Controlador		
	%	Válvula Abierta o Cerrada
Valor de la Señal de Salida del Controlador = % de apertura de la válvula de control cuando la Variable de Proceso se encuentra en el valor mínimo (PV mínimo)		
Valor de la Señal de Salida del Controlador = % de apertura de la válvula de control cuando la variable de proceso se encuentra en el valor máximo (PV máximo)		

### Elaboración de la Gráfica.

**Nota:** Utilizar los valores promedio de las corridas realizadas, si se hacen varios set point usar mismas escalas para comparar el comportamiento.

- 1) Registrar en el eje de las "X", el tiempo (t)
- 2) Registrar en el eje de las "Y", el valor de la variable de proceso (% PV mínimo y % PV máximo) y el valor del punto de ajuste o set point (% SP)
- 3) Definir la escala de los ejes tomando en cuenta el punto de ajuste. Tomar en cuenta que se debe ampliar la escala entre % PV máximo y % PV mínimo.
- 4) Trazar una línea recta horizontal al eje de las "X" para el punto de ajuste (% SP), de igual manera para la variable de proceso (% PV máximo y % PV mínimo).
- 5) Identificar un punto cero % PV mínimo y  $t = 0$  segundos.
- 6) Para el tiempo 1 (t1), utilizar el tiempo promedio que tarda en llegar la variable de proceso del valor mínimo (% PV mínimo) al valor máximo (% PV máximo).
- 7) Para el tiempo 2 (t2) utilizar ahora el tiempo promedio que tarda en llegar la variable de proceso del valor máximo (% PV máximo) al valor mínimo (% PV mínimo).
- 8) Unir ambos puntos con una línea recta.
- 9) Repetir el triángulo graficado mínimo 3 veces.
- 10) Señalar en la gráfica el valor de la diferencial o zona neutra, la amplitud del ciclo y el periodo del ciclo.

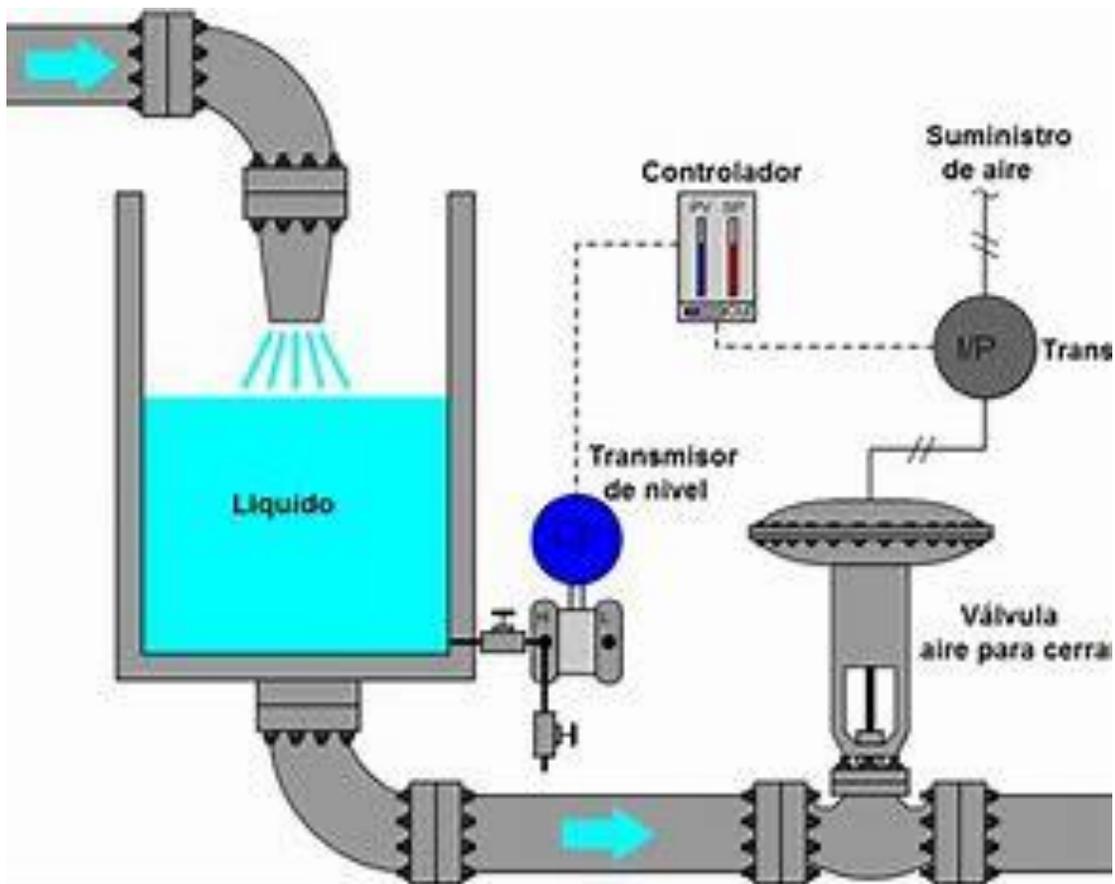


### 6.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).

### 6.9 Conclusiones.

# PRACTICA 7

## MODO DE CONTROL PROPORCIONAL





## Contenido de la práctica.

- 7.1 Objetivo.
- 7.2 Síntesis de la teoría.
- 7.3 Equipo utilizado en la práctica.
- 7.4 Instructivo de operación de la práctica.
- 7.5 Tabla de datos experimentales.
- 7.6 Secuencia de cálculos.
- 7.7 Tabla de resultados y gráfica.
- 7.8 Análisis de resultados (de tablas y de gráficas).
- 7.9 Conclusiones.

### 7.1 Objetivo.

Observar su funcionamiento, obtener su ecuación y elaborar la gráfica correspondiente.

### 7.2 Síntesis de la teoría.

#### Control Proporcional.

En el sistema de posición proporcional existe una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada o variable de proceso (PV) y la posición del elemento final de control (Y). Es decir, la válvula se mueve el mismo valor por cada unidad de desviación. En otras palabras, el modo de control proporcional es aquel en el cual la señal de salida del controlador (Y) es proporcional a la magnitud de la desviación respecto al punto de ajuste o set point (PA, P, o SP), la cual es transformada en una posición de abertura de la válvula de control. Ver figura 7.1.

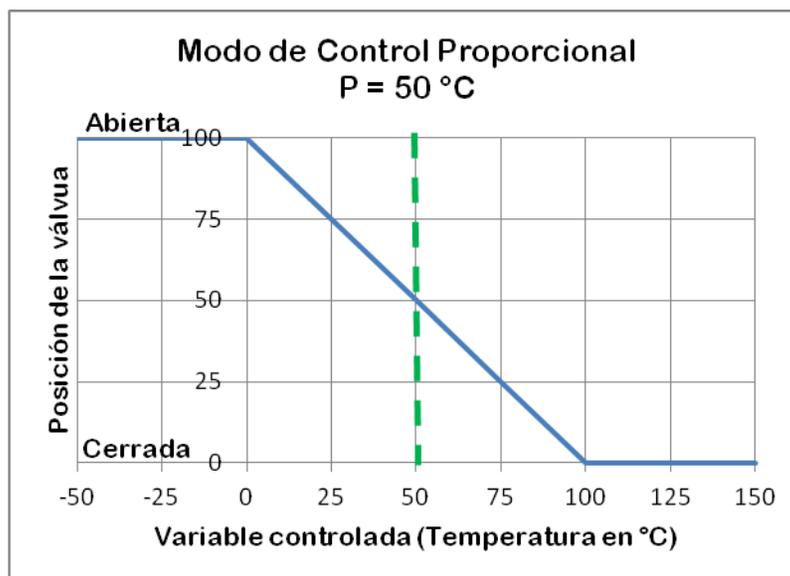


Figura 7.1. Ejemplo del Modo de Control Proporcional.



En la figura 7.1 se muestra un ejemplo del modo de control proporcional. Puede verse la forma en que actúa un controlador proporcional cuyo punto de ajuste o set point es de 50 °C y cuyo intervalo de actuación es de 0 a 100 °C.

- Quando la variable controlada está en 0 °C o menos, la válvula está totalmente abierta
- A 100 °C o más, la válvula está totalmente cerrada, y
- Entre 0 °C y 100 °C la posición de abertura de la válvula de control es proporcional al valor de la variable controlada. Por ejemplo, a 25 °C la válvula de control está abierta en un 75 % y a 50 °C la válvula de control está abierta en un 50 %.

Ecuación del Control proporcional. (Nacif, J. (1980). Ingeniería de Control Automático.)

$$-Y = \frac{E - PA}{BP} + k \quad \text{ó} \quad -Y = \frac{PV - P}{BP} + k \quad \text{ó} \quad -Y = \frac{PV - SP}{BP} + k$$

Donde:

BP =	Banda Proporcional	[=] %
PV – SP =	Desviación o error de la variable controlada.	[=] %
Y =	Señal de salida del controlador, respuesta del controlador o posición de apertura de la válvula de control	[=] %
E o PV =	Valor de la variable controlada o variable de proceso	[=] %
PA, P o SP =	Valor del punto de Ajuste, punto de control, punto de consigna, valor deseado o set point	[=] %
k =	Constante de la válvula de control que depende de la posición del reset manual	[=] %
G = m = Kp	Ganancia del controlador	[=]
	El valor de la Ganancia es adimensional	

### Controlador de Acción Directa.

Quando al aumentar el valor de la variable controlada o variable de proceso (E o PV) con respecto al punto de ajuste (PA o SP), aumenta la señal de salida del controlador (Y). Es decir, al aumentar el valor de la variable de proceso se abre la válvula de control.

### Controlador de Acción Inversa.

Quando al aumentar el valor de la variable controlada (E o PV) con respecto al punto de ajuste (PA o SP), disminuye la señal de salida del controlador (Y). Es decir, al aumentar el valor de la variable de proceso se cierra la válvula de control.

El grado de ajuste del controlador proporcional viene definido por la ganancia.



### Ganancia del controlador (G, m, o Kp).

La Ganancia del controlador es la relación entre la variación de la señal de salida del controlador a la válvula de control y la variación de la señal de entrada procedente del elemento primario o del transmisor. La ganancia del controlador es un valor especificado sin unidades.

$$G = Kp = \frac{\% \Delta Y}{\% \Delta E} = \frac{Y_2 - Y_1}{E_2 - E_1} \quad \text{ó} \quad G = Kp = \frac{\% \Delta Y}{\% \Delta PV} = \frac{Y_2 - Y_1}{PV_2 - PV_1}$$

En el ejemplo de la figura 7.1 se puede calcular el valor de la ganancia del controlador de temperatura seleccionando dos puntos de la variable de proceso PV (señal de entrada procedente del transmisor) y sus respectivas señales de salida del controlador que corresponden al porcentaje de abertura de la válvula de control (Y):

$$\begin{aligned} PV_1 &= 25 \% & Y_1 &= 75 \% \\ PV_2 &= 75 \% & Y_2 &= 25 \% \end{aligned}$$

$$G = Kp = \frac{\% \Delta Y}{\% \Delta E} = \frac{\% Y_2 - \% Y_1}{\% E_2 - \% E_1} \quad \text{ó} \quad G = Kp = \frac{\% \Delta Y}{\% \Delta PV} = \frac{\% Y_2 - \% Y_1}{\% PV_2 - \% PV_1}$$

$$G = Kp = \frac{\% \Delta Y}{\% \Delta PV} = \frac{25 \% - 75 \%}{75 \% - 25 \%}$$

$$G = Kp = \frac{50 \%}{50 \%}$$

$$G = Kp = 1$$

### Banda Proporcional (BP).

La banda proporcional es el porcentaje de variación de la variable controlada o variable de proceso necesaria para provocar una carrera completa del elemento final de control (Y = 0 % al 100 %). El valor de la banda proporcional de un instrumento particular, se expresa usualmente en tanto por ciento de su campo de medida total.

Del mismo ejemplo de la figura 7.1 se puede calcular el valor de la banda proporcional del controlador de temperatura seleccionando dos puntos de la variable de proceso PV (señal de entrada procedente del transmisor) y sus respectivas señales de salida del controlador que corresponden al porcentaje de abertura de la válvula de control (Y):

$$\begin{aligned} PV_1 &= 25 \% & Y_1 &= 75 \% \\ PV_2 &= 75 \% & Y_2 &= 25 \% \end{aligned}$$



$$BP = \frac{\% E}{\% Y} \times 100 = \frac{\% E_2 - \% E_1}{\% Y_2 - \% Y_1} \times 100 \quad \text{ó} \quad BP = \frac{\% PV}{\% Y} \times 100 = \frac{\% PV_2 - \% PV_1}{\% Y_2 - \% Y_1} \times 100$$

$$\% BP = \frac{75^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}{25^\circ\text{C} - 75^\circ\text{C}} \times 100$$

$$BP = -100\%$$

**NOTA:** El signo (-) de la Banda Proporcional (BP) significa que el controlador es de acción inversa.

La banda proporcional fue muy utilizada en los controladores neumáticos y en los electrónicos. Actualmente está en desuso, a favor de la ganancia.

#### **Offset o Desviación Sostenida.**

La acción proporcional tiene un inconveniente, que es la desviación permanente de la variable de proceso (PV) con relación al punto de ajuste o set point (SP) una vez estabilizada, denominada Offset.

El Controlador Proporcional reduce el error o desviación, pero no lo elimina por completo. Esta desviación, puede ser calculada mediante la resta algebraica entre el valor de la variable de proceso (% PV) y el valor del punto de ajuste o set point (% SP), cuando el proceso está estabilizado.

$$\text{Error o Desviación} = \% X \text{ o } \% e$$

$$\% X = \% SP - \% PV = \% PA - \% E = \% P - \% PV$$

$$\% X = \% PV - \% SP = \% E - \% PA = \% E - \% P$$

La respuesta del control proporcional y su estabilidad dependen del valor de la banda proporcional. (Creus, A. (2011), Instrumentación Industrial.)

1. Una banda proporcional muy angosta produce demasiada oscilación antes de estabilizar la variable controlada.
2. Una banda proporcional pequeña o angosta produce una desviación sostenida pequeña.
3. Una banda proporcional ancha produce una desviación sostenida excesiva.
4. A mayor ganancia  $K_p$  mayor actuación ante el mismo error, el sistema evoluciona más rápido, pero con mayor oscilación.



### Preguntas de investigación.

- 1) ¿Qué es el modo de control proporcional?
- 2) ¿Cuáles son las características del control proporcional?
- 3) ¿En qué consiste la acción directa e inversa de un controlador?
- 4) ¿Qué es la banda proporcional, cuáles son los tipos que hay, así como los rangos de valores?
- 5) ¿Qué es la ganancia de un controlador?
- 6) ¿Qué es el error o desviación, qué es el offset o desviación sostenida y cómo se calculan? Dé ejemplos.
- 7) Cite ejemplos de aplicación del modo de control proporcional

### 7.3 Equipo utilizado en la práctica.

Planta Plint

4 cables para interconectar el circuito de control

Equipo Multilazo IMEPI (capacidades del tanque de medición 280 litros)

Compresor de aire

### 7.4 Instructivo de operación de la práctica.

#### A) En Planta Plint.

- 1) Purgar drenar el agua condensada acumulada dentro del compresor de aire (abrir un poco la válvula de compuerta VC1). Con el objeto de obtener un aire más limpio a la salida del compresor de aire. Revisar previamente el nivel de aceite.



- 2) Abrir válvula de bola VB1 o válvula de paso (girar hacia la izquierda).



3) Accionar botón verde.



4) Accionar 3 interruptores (los de arriba y los de abajo). Desplazándolos hacia la derecha.



5) Abrir válvula principal de suministro de aire, ubicada en la pared del lado derecho del compresor (válvula de bola de tubería verde, girar hacia arriba).



6) Accionar interruptor principal (desplazar hacia arriba).



7) Colocar los cables de interconexión LT a LICA MV y de LICA O/P a FCV.

FICA MV	FICA O/P	FICA O/P	FICA SV
LICA MV	LICA O/P	LICA O/P	FCV
FT	FT	LT	LT
FR1	FR2	LR1	LR2



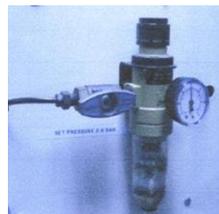
8) Abrir válvula de alimentación de aire al equipo de control válvula de bola ubicada atrás de la Planta Plint, línea de tubería verde (girar hacia abajo).



9) Encender equipo, girar perilla rojo con amarillo hacia la derecha.



10) Cerciorarse de que esté abierta la válvula de bola VB4 del filtro de aire y que el manómetro marque una lectura de 2 bar de presión.



- 11) Accionar la bomba presionando botón verde y observar que ascienda o descienda el valor del nivel en el controlador LICA



- 12) Cerciorarse de que la válvula de recirculación HV5 esté completamente abierta.



- 13) En el programa del controlador LICA fijar las condiciones de trabajo siguientes:  
Para ENTRAR al programa del controlador LICA se mantiene oprimida la flecha izquierda hasta que aparezca el menú. Para ver cada uno de los parámetros de las condiciones de operación se oprime el botón derecho una vez.

Para MODIFICAR el valor de un parámetro se oprime la flecha hacia arriba si se quiere aumentar y la flecha hacia abajo para disminuir el valor del parámetro a modificar.

Para SALIR del programa de igual manera se mantiene oprimido el botón izquierdo hasta que aparezca SP u OP según se desee.

- 14) En el display del controlador LICA, salir del programa y dejarlo en posición donde aparece OP presentando los valores de la variable controlada o variable de proceso en la parte superior (% E) y en la parte inferior los valores que va tomando la señal de salida del controlador (Y).



- 15) Después de configurar el display del controlador LICA, verificar que se encuentre en modo automático y (OP), en caso de que se encuentre en “modo manual” oprimir el botón “A/M”.

<b>50.0</b> <b>SP LOC</b>	<b>OFF</b> <b>IA<sub>t</sub></b>	La siguiente imagen muestra el display del controlador LICA en SP (punto de ajuste o set point)
<b>OFF</b> <b>rA<sub>t</sub>E</b>	<b>0.0</b> <b>rESEt</b>	
<b>0.1</b> <b>thr ES</b>	<b>OFF</b> <b>dA<sub>t</sub></b>	La siguiente imagen muestra el display del controlador LICA en OP (señal de salida del controlador)
<b>OFF</b> <b>P ton E</b>	<b>100.0</b> <b>H PL</b>	
<b>OFF</b> <b>A ton E</b>	<b>0.0</b> <b>L PL</b>	La siguiente imagen muestra el display del controlador LICA en OP (señal de salida del controlador)
<b>10.0</b> <b>Prop</b>		
		<b>48 (% E)</b> <b>SP</b> <b>50.0 (% P)</b>
		<b>48 (% E)</b> <b>OP</b> <b>19.6 (% Y)</b>

- 16) Apagar la bomba presionando botón rojo.





17) Cerrar válvula HV5 totalmente.



18) Mantener ligeramente abierta la válvula HV3, para ir tomando lecturas de la señal de salida del controlador (% Y) a diferentes valores de la variable medida “% E o % PV”, de acuerdo a la tabla de datos experimentales.



19) Si se quiere subir el valor de la variable de proceso PV o E, accionar la bomba unos segundos con las válvulas HV5 y HV3 cerradas.



20) Registrar los valores que va tomando la señal de salida del controlador (% Y) en el display del controlador LICA de acuerdo a la tabla de datos experimentales correspondientes a diferentes valores de la variable controlada (% E o PV).



**48 (% E o % PV)**  
**OP**  
**19.6 (% Y)**

NOTA: Se llena el tanque “C2” por encima del nivel establecido por el usuario (% E) y se deja ligeramente abierta la válvula “HV3” durante toda la operación para proceder a registrar los valores del (% Y).

21) Una vez terminadas las lecturas abrir válvula HV5.



22) Accionar la bomba presionando botón verde.



23) En el display del controlador LICA, entrar al programa para fijar nuevas condiciones de set point (% E) y banda proporcional (%BP), según indique el profesor.

Ejemplo:

SP = 50 % y %BP = 35 %.

24) En el display del controlador LICA, salir del programa y dejarlo en posición donde aparece OP presentando los valores de la variable controlada en la parte superior (% E ó % PV) y en la parte inferior los valores que va tomando la señal de salida del controlador (% Y).

25) Apagar la bomba presionando botón rojo.



26) Cerrar la válvula HV5 totalmente.



**NOTA:** Cuando la variable de proceso ya no baje en el display del controlador LICA (se quede estable) hay que alimentar agua al tanque C1. El agua se alimenta abriendo la válvula localizada en la tubería azul rey (válvula amarilla) y la válvula HV4.

27) Mantener ligeramente abierta la válvula HV3.



Si se quiere subir el valor de la variable accionar bomba unos segundos con las válvulas HV5 y HV3 cerradas.



28) Registrar los valores que va tomando la señal de salida del controlador (% Y) en el display del controlador LICA de acuerdo a la tabla de datos experimentales correspondientes a diferentes valores de la variable controlada o variable de proceso (% E o % PV).



29) Una vez terminadas las lecturas abrir la válvula HV5 totalmente.



30) Apagar el equipo, girar perilla roja con amarillo, hacia la izquierda, quitar conexiones y apagar el compresor desactivando primero el interruptor principal.



**B) En Equipo Multilazo IMEPI (Instructivo de operación).**

- 1) Poner en servicio el compresor de aire. Revisar previamente el nivel de aceite.
- 2) Accionar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo, ubicados en la parte trasera del equipo Multilazo.



- 3) Abrir válvula de bola de tubería blanca para el suministro de aire al equipo, verificar que la presión no sea menor a 90 psig.



- 4) Revisar que las válvulas manuales para drenar los tanques estén cerradas.
- 5) Verificar en el tablero de control que el selector esté en la posición de “PLC”, cuando el control del sistema se realice con el controlador lógico programable y con la estación del software Aurora HMI SCADA. Y el Selector de la variable de proceso esté en Nivel “L”



- 6) Desactivar el botón Paro de Emergencia (PE). Jalar el botón hacia uno.

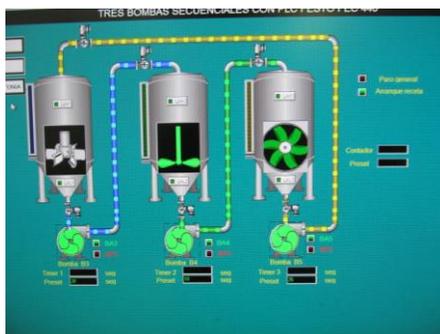




- 7) Oprimir el Botón de Encendido para energizar el tablero de control. Si se escucha un ruido es la alarma, oprimir botón REC AL (Reconoce Alarma), que está en el Tablero de Control, para desactivar la alarma, o también se puede hacer en la pantalla de la computadora en el cuadro que dice Reconoce Alarma Sonora



- 8) Encender computadora y esperar.  
9) Dar doble clic en el Programa Aurora HMI SCADA.  
10) Aparece cuadro que dice: Select Directory dar clic en Cerrar.  
11) Dar clic en PRINCIPAL, y seleccionar la primera opción en PROYECTOS RECIENTES.  
12) Aparece en la pantalla de la computadora un diagrama con 3 tanques.



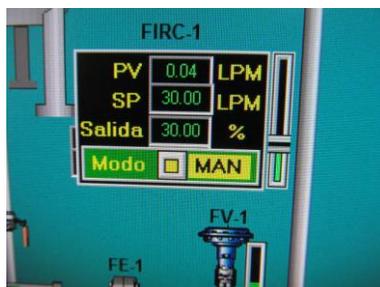
- 13) Dar clic en RUNTIME del menú principal y seleccionar IR A TIEMPO DE EJECUCIÓN, aparecerán 2 tanques.  
14) Verificar que los niveles de agua en los tanques T1 y T2 tengan aproximadamente el 50 % de agua, si se considera necesario abrir válvulas de bola manuales HV, HV-1 de suministro de agua al tanque T1 y en el programa Aurora HMI SCADA abrir la válvula de bola neumática V-6 (dar clic sobre la válvula).



- 15) En el controlador registrador indicador de flujo FIRC-1. Activar modo manual.



16) En el controlador registrador indicador de nivel LIRC-2. Activar modo automático.



17) Seleccionar la opción que más le agrade para la dirección del flujo de agua.

**SELECTOR 1**

- a) TRANSFERIR a T1 Nota: Sí se elige ésta opción, verificar que también esté abierta la válvula manual HV5.
- b) TRANSFERIR a T2
- c) TRANSFERIR T1 y T2

**SELECTOR 2**

LIC-2 el cuadro debe estar en color azul claro (controlando nivel).

18) Activar la Opción TRANSFERIR T1 y T2.



SELECTOR 1	SELECTOR 2
<input checked="" type="checkbox"/> TRANSFERIR T1 y T2 Verde claro	<input checked="" type="checkbox"/> LIC 2 Azul claro Controlando nivel

19) En el controlador registrador indicador de flujo (FIRC-1)

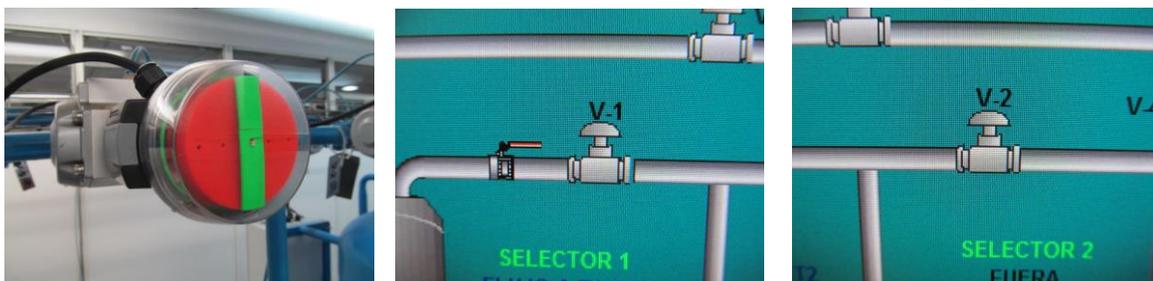
- a) Modificar la señal de salida del controlador a 50 %.
- b) Modificar el punto de ajuste SP a 50 %.

20) En el controlador registrador indicador de nivel (LIRC-2)

- a) Modificar el punto de ajuste SP a 60 %.

FIRC-1	LIRC-2
PV=	PV= 35.30 %
SP= 50 %	SP= 60 %
Salida = 50 %	Salida = 0.01 %
Modo <span style="color: green;">■</span> Manual	Modo <span style="color: blue;">■</span> Auto
Verde claro	Azul claro

21) Comprobar en pantalla de operación y físicamente, que las válvulas de bola neumáticas: V-1 esté cerrada y V-2 esté abierta.



22) Dar clic en SINTONÍA, la cual se encuentra en la parte inferior derecha y deben estar las siguientes condiciones.

En Sintonía					
CONTROL DE FLUJO			CONTROL DE NIVEL		
SP	PV	SALIDA	SP	PV	SALIDA
FLUJO			NIVEL		
Kc = 0.70			Kc = 200		
Ti = 2.00 minutos/repeticiones			Ti = 0.0		
Td = <input type="text"/>			Td = <input type="text"/>		
Acción <span style="color: green;">■</span> Directa			Acción <span style="color: yellow;">■</span> Directa		
verde			Amarillo		

23) Dar clic en Tanques.

24) Accionar Interruptores de las bombas 1 y 2 (dar clic en BA1 y BA2).



25) Simultáneamente.

26) En el controlador registrador indicador de nivel LIRC-2.

- Iniciar toma de vídeo del comportamiento de la variable de proceso (% PV) con respecto al tiempo.
- Detener el vídeo cuando las lecturas de la variable de proceso (% PV) se estabilicen.



27) Desactivar interruptores de las bombas 1 y 2 (Dar clic en BP1 y BP2).



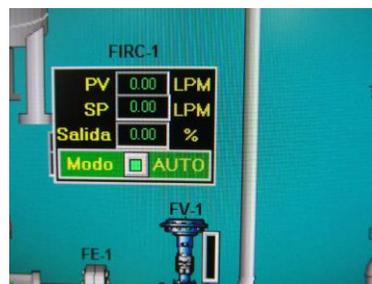
28) Registrar lecturas en tablas de datos experimentales.

- Valores de la variable de proceso (% PV) con respecto al tiempo (t en segundos).
- Valores de la variable de proceso (% PV) a diferentes señales de salida del controlador (% Salida).

29) Modificar el valor del punto de ajuste o set point (% SP) y repetir pasos 24 al 28.



- 30) Si se desea tener más intervalo de valores de (% PV) vs (% Salida) se pueden accionar las bombas 1 y 2 en forma individual, simultáneamente tomar vídeo:
- a) Accionar el Interruptor de la Bomba 1 (dar clic en BA1), cuando el valor de la variable de proceso (% PV) (en LIRC-2) esté por debajo del Set point o Punto de Ajuste (% SP). Desactivar el interruptor de la bomba 1 (dar clic en BP1) cuando el valor de la Variable de Proceso (% PV) rebase el valor del Set Point o Punto de Ajuste (% SP).
  - b) Accionar el Interruptor de la Bomba 2 (dar clic en BA2), cuando el valor de la variable de proceso (% PV) (en LIRC-2) este por arriba del set point o punto de ajuste (% SP). Desactivar el interruptor de la bomba 1 (dar clic en BP1) cuando el valor de la Variable de Proceso (% PV) esté por debajo del valor del Set Point o Punto de Ajuste (% SP).
  - c) Realizar el registro de las lecturas de (% PV) y (% Y) en la tabla de datos experimentales.
- 31) Una vez terminadas las lecturas.
- 32) En el controlador registrador indicador de nivel LIRC-2 Aurora HMI SCADA.
- a) Modificar SP a 0 %.
  - b) Activar Modo manual
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0 %.
- 33) En el controlador registrador indicador de flujo FIRC-1 Aurora HMI SCADA.
- a) Modificar SP a 0 %
  - b) Activar Modo manual
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0 %.



- 34) Dejar ambos Selectores Aurora HMI SCADA en la opción FUERA.





SELECTOR 1	SELECTOR 2
 TRANSFERIR A T1, A T2 , T1 y T2 Verde obscuro	FUERA  Azul rey

- 35) Cerrar válvula de bola manual de tubería blanca para quitar el suministro de aire al equipo y válvula de bola manual de tubería azul de suministro de agua al tanque de alimentación, en caso de que ésta se haya abierto.



- 36) Dar clic en PRINCIPAL.  
37) Seleccionar SALIR para cerrar programa sin guardar cambios.  
38) Aparece letrero que dice: NO SE HAN GUARDADO LOS CAMBIOS A ESTE PROYECTO ¿DESEA GUARDARLOS?  
39) Dar clic en respuesta NO.  
40) Aparece letrero que dice: ¿DESEA TERMINAR LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO?  
41) Dar clic en respuesta YES.  
42) Dar clic en INICIO y seleccionar APAGAR EQUIPO.  
43) Presionar botón Paro de Emergencia (PE).



- 44) Desactivar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo.  
45) Desactivar servicio del compresor de aire.



### 7.5 Tabla de datos experimentales.

Tabla 1. Datos Experimentales Modo de Control Proporcional		
Punto de Ajuste o Set Point (SP) =		
Corrida	Variable de Proceso PV %	Señal de Salida del Controlador Y %
1		0
2		
3		
4		
5		
6		100

Tabla 2. Datos Experimentales Modo de Control Proporcional		
Set Point (SP) =		
Corrida	Tiempo t segundos	Variable de Proceso PV %
1	0	
2	10	
3	20	
4	30	
5	40	
6	50	
7	60	
8	70	
9	80	
10	90	
11	100	
12	110	
13	120	
14	130	
15	140	

**NOTA:** Agregar más renglones si lo considera necesario.



**7.6 Secuencia de cálculos.**

1) Determinar el tipo de acción del controlador experimentalmente, si es de acción inversa o directa, explicar ¿por qué?

2) Calcular experimentalmente el valor de la banda proporcional y la ganancia.

$$G = \frac{Y_2 - Y_1}{PV_2 - PV_1}$$

$$BP = \frac{PV_2 - PV_1}{Y_2 - Y_1} 100$$

3) Determinar experimentalmente el valor del offset o desviación sostenida.

**7.7 Tabla de resultados y gráficas.**

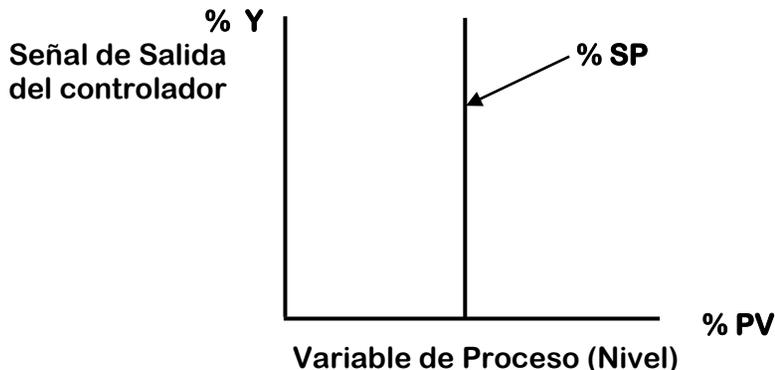
Tabla de Resultados Modo de Control Proporcional		
Set Point (SP) =		
Corrida	Variable de Proceso PV %	Señal de Salida del Controlador Y %
1		0
2		
3		
4		
5		
6		100
Tipo de Acción del Controlador		
Valor de la Banda Proporcional		
Valor de la Ganancia		
Valor del Offset o Desviación Sostenida		



### Elaboración de las Gráficas.

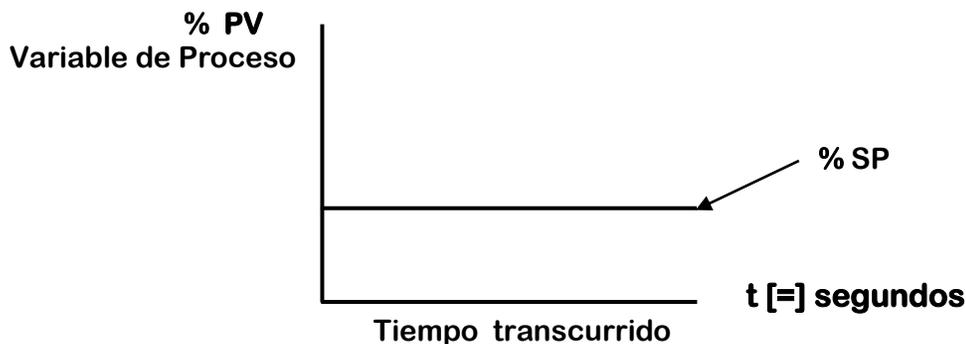
#### a) Gráfica 1.

1. Identificación de variables: % PV (variable controlada o variable de proceso = % de nivel), % SP (punto de ajuste o set point).
2. Registrar en el eje de las “X” el % PV (los diferentes valores que va tomando la variable de proceso con respecto a la señal de salida del controlador). Para tener una visión más clara del comportamiento ampliar la escala en el intervalo de estudio.
3. Trazar una línea vertical en el eje de las “X” desde el 0 % de la señal de salida del controlador hasta el 100 % de la señal de salida del controlador que corresponde al punto de ajuste o set point (% SP).
4. Registrar en el eje de las “Y”, el % Y (los diferentes valores que va tomando la señal de salida del controlador con respecto a la variable de proceso).



#### b) Gráfica 2.

1. Identificación de variables: t (tiempo en segundos), % PV (variable controlada o variable de proceso = % de nivel), % SP (punto de ajuste o set point).
2. Registrar en el eje de las “X” el tiempo transcurrido en segundos.
3. Registrar en el eje de las “Y” el % PV (los diferentes valores que va tomando la variable de proceso con respecto al tiempo).
4. Trazar una línea horizontal en el eje de las “Y” desde el tiempo cero hasta el último valor del tiempo correspondiente al punto de ajuste o set point (% SP).



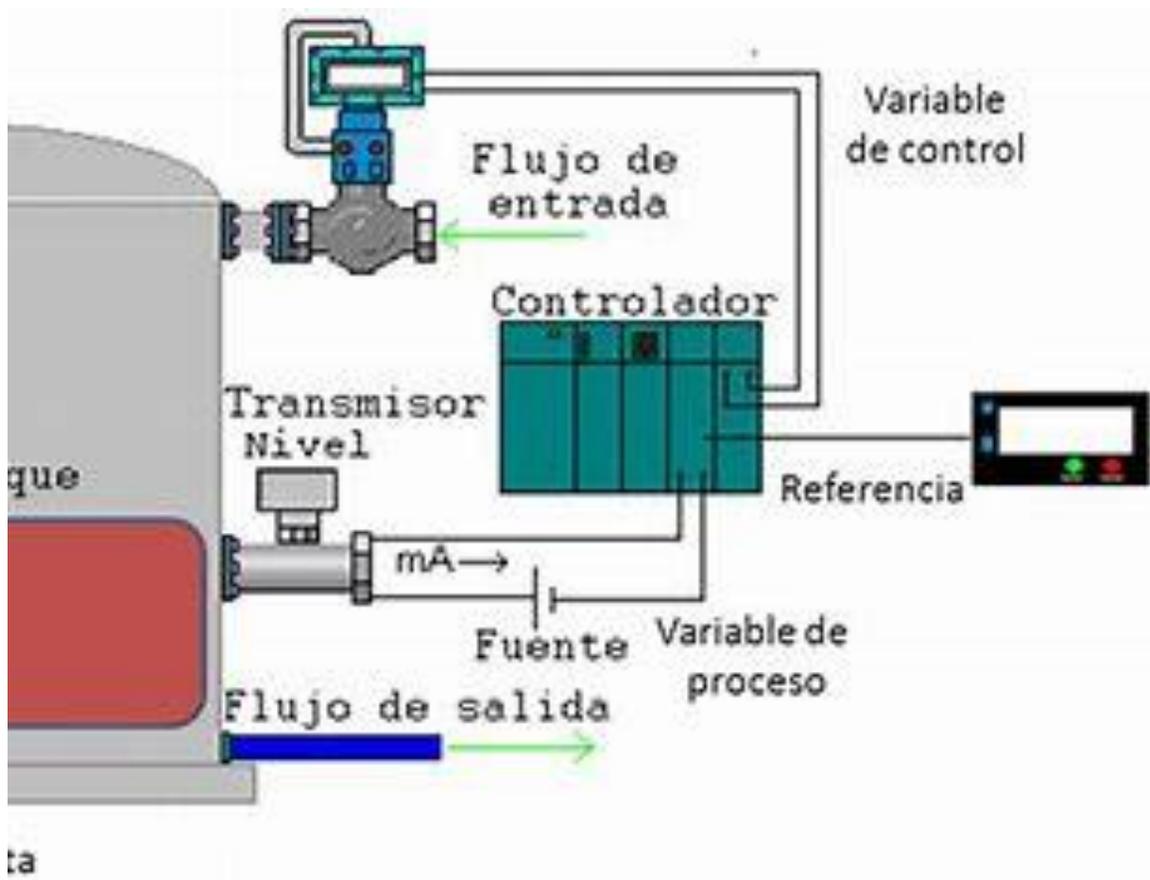


## **7.8 Análisis de resultados (datos de tablas y de gráfica).**

## **7.9 Conclusiones.**

# PRACTICA 8

## MODO DE CONTROL PROPORCIONAL CON INTEGRAL O REAJUSTE





## Contenido de la práctica.

- 8.1 Objetivo.
- 8.2 Síntesis de la teoría.
- 8.3 Equipo utilizado en la práctica.
- 8.4 Instructivo de operación de la práctica.
- 8.5 Tabla de datos experimentales.
- 8.6 Secuencia de cálculos.
- 8.7 Tabla de resultados.
- 8.8 Análisis de resultados.
- 8.9 Conclusiones

### 8.1 Objetivo.

Observar el efecto del reajuste o integral al agregarlo al control proporcional en el control de las variables.

### 8.2 Síntesis de la Teoría.

#### **Control proporcional con integral (con reset, con reajuste o con control flotante).**

El control integral actúa cuando existe una desviación entre la variable de proceso y el punto de ajuste, integrando dicha desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional.

**La acción integral** se emplea para eliminar el inconveniente del offset (desviación permanente o desviación sostenida de la variable de proceso con respecto al punto de ajuste) de la acción proporcional. Es decir, solo se utiliza cuando es preciso mantener un valor de la variable de proceso (PV) que iguale siempre al punto de ajuste o set point (SP).

**El control proporcional o control de velocidad proporcional** responde a los cambios presentes en la entrada de la variable de proceso (PV) y generará inmediatamente cambios en la señal de salida del controlador o abertura de la válvula de control (Y). Es decir, es aquel en donde la velocidad de la señal de salida del controlador se mueve proporcionalmente a la magnitud de la desviación y su expresión matemática es:

-  $dy/dx = f ( PV-SP )$  Integrando la ecuación queda:

$$- y = f \int_0^t (PV - SP) dt + k \quad \text{en donde,}$$

Y = Señal de salida del controlador [=] en fracción decimal

t = tiempo [=] minutos

PV = posición de la variable de proceso [=] en fracción decimal

SP = posición de punto de ajuste o set point [=] en fracción decimal

f = velocidad proporcional en las siguientes unidades

k = constante de la válvula [=] adimensional

#### **El integral (reset, reajuste o control flotante).**

Recorre la banda proporcional (BP) de un lado a otro de la escala de la variable de proceso (PV) hasta sostener una abertura de la válvula (Y) tal que, la variable de proceso se iguale al punto de ajuste o set point (PV = SP).



El reajuste, puede realizarse manualmente o automáticamente.  
Reset o reajuste = se realiza manualmente  
Integral = lo realiza automáticamente el controlador.

**Velocidad del reset, velocidad del integral o velocidad del reajuste (r).** (Nacif, J. (1980). Ingeniería de Control Automático.)

Se define como el número de veces por minuto que la respuesta del control proporcional es repetida por la acción integral.

$$r = \frac{\text{numero de repeticiones}}{\text{min uto}}$$

Pero, en algunos equipos se puede manejar la inversa de la velocidad, minutos por repeticiones.

$$r = \frac{\text{min utos}}{\text{número de repeticiones}}$$

Nota: La acción integral no puede trabajar sola, se debe tener el control proporcional.

La expresión matemática del control proporcional con integral (PI) es :

$$Y = \frac{SP - PV}{BP} + \frac{r}{BP} \int_{t_0}^{t_1} (SP - PV) dt + k$$

PV= posición de la variable de proceso [=] en fracción decimal  
SP= posición de punto de ajuste o set point [=] en fracción decimal  
BP= banda proporcional [=] en fracción decimal  
r = reajuste [=] repeticiones / minuto  
k = constante de la válvula [=] adimensional  
Y= Señal de salida del controlador [=] en fracción decimal  
t= tiempo [=] minutos

Por ejemplo, si un error de 5% aparece entre PV y SP entonces un controlador integral (solo integral) con un valor integrativo de 3 repeticiones por minuto (ó un tiempo integral de 0.333 minutos por repetición), la salida empezara a cambiar a una tasa de 15% por minuto.

$$(dm/dt = \text{Valor\_Integral} \times e, \text{ o } dm/dt = e/Ti).$$

En múltiples controladores PI y PID, la respuesta integral también es multiplicada por la ganancia proporcional, entonces para las mismas condiciones del ejemplo anterior aplicado a un controlador PI (con ganancia de 2) resultaría que la salida cambiaría, a un tasa de 30% por minuto.

$$(dm/dt = \text{Valor de Ganancia} \times \text{Valor de Integral} \times e, \text{ o } dm/dt = \text{Valor de Ganancia} \times e/Ti).$$



La dirección de este cambio en relación a la dirección (signo) del error depende si el controlador está configurado con una acción directa o acción inversa.

### Preguntas de investigación.

- 1) ¿Cómo funciona el controlador proporcional con integral, con reset o con control flotante)?
- 2) ¿Qué es la acción proporcional?
- 3) ¿Qué es la acción integral, reset o control flotante?
- 4) ¿Cuándo se utiliza el controlador proporcional con integral, con reset o con control flotante?
- 5) ¿Qué significan las siglas PID?
- 6) ¿Cómo funciona el control PID?

### 8.3 Equipo utilizado.

Planta Plint

4 Cables de interconexión entre equipos

Compresor de aire

### 8.4 Instructivo de operación de la práctica.

- 1) Poner en servicio el compresor. Revisar previamente el nivel de aceite.
- 2) Purgar o drenar el agua condensada acumulada dentro del compresor (abrir un poco la válvula de compuerta VC1). Con el objeto de obtener un aire más limpio a la salida del compresor.



- 3) Abrir válvula de bola VB1 o válvula de paso (girar hacia la izquierda).



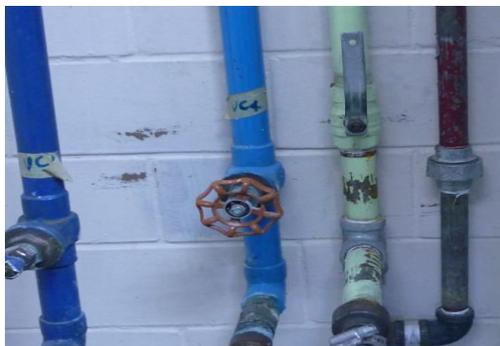
4) Accionar botón verde.



5) Accionar 3 interruptores (los de arriba y los de abajo). Desplazándolos hacia la derecha.

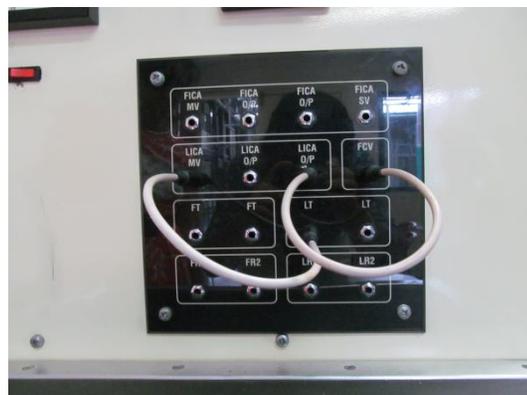


6) Abrir válvula principal de suministro de aire, ubicada en la pared del lado derecho del compresor (válvula de bola de tubería verde, girar hacia arriba) y accionar interruptor principal (desplazar hacia arriba).



7) Colocar los cables de interconexión LT a LICA MV y de LICA O/P a FCV.

FICA MV	FICA O/P	FICA O/P	FICA SV
LICA MV	LICA O/P	LICA O/P	FCV
FT	FT	LT	LT
FR1	FR2	LR1	LR2



8) Revisar que la línea de flujo de agua del tanque cisterna al tanque de medición este alineado, así como de éste, al tanque cisterna. En caso de que no esté alineado, abrir válvula respectiva (HV5).



9) Abrir válvula de alimentación de aire al equipo de control VB3 o válvula de paso, línea de tubería verde localizada atrás del equipo del lado izquierdo (girar hacia abajo).



- 10) Encender equipo, girar perilla rojo con amarillo hacia la derecha.



- 11) Revisar en el programa del controlador LICA, que los siguientes parámetros estén en cero (BP = 0, reset = 0, integral=0, Derivativa = 0).
- 12) Fijar un valor para el punto de ajuste o set point SP en LICA (ejemplo 70 %).



- 13) Accionar la bomba de suministro de agua, presionando botón verde.

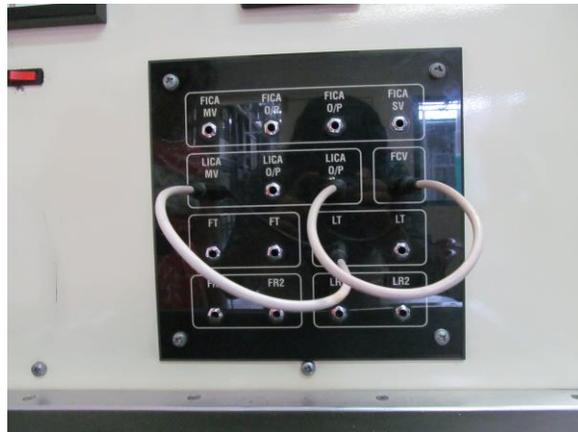


- 14) Fijar en el programa del controlador LICA los valores a trabajar para el punto de ajuste o set point (% P ó % SP) y el valor de la banda proporcional (% BP).
- 15) Observar los valores de la variable de proceso (E ó PV), el punto de ajuste (P o SP) y el valor de la posición de la válvula o señal de salida del controlador  $Y_P$ , los cuales están en porcentaje (%).

Nota: Esta información corresponde al controlador proporcional sin el reset.



- 16) Eliminar la desviación presentada (diferencia entre el valor de la variable de proceso y el punto de ajuste o set point), utilizando el ajuste manual o reset cambiando de valor a la señal de salida del controlador o abertura de la válvula (Y), de acuerdo a las necesidades del proceso.
- 17) Observar que se elimina ésta desviación después de un tiempo determinado.
- 18) Tomar el tiempo (t) necesario para la que la variable de proceso (E ó PV) coincida con el punto de ajuste o set point (P ó SP).
- 19) Observar el nuevo valor de la señal de salida del controlador o abertura de la válvula (Y<sub>P+RESET</sub>).
- 20) Registrar en tabla de datos experimentales las lecturas del set point SP, la banda proporcional BP con signo negativo porque este controlador es de acción inversa, la variable de proceso PV, la señal de salida del controlador proporcional Y<sub>P</sub>, la señal de salida del controlador proporcional más el reset Y<sub>P+RESET</sub>, la constante de la válvula para este equipo vale cero es decir  $k = 0$  y el tiempo t.
- 21) Una vez terminadas las lecturas apagar el equipo, girar perilla rojo con amarillo, hacia la izquierda, quitar conexiones y apagar el compresor desactivando primero el interruptor principal.





### 8.5 Tabla de datos experimentales.

Tabla de Datos Experimentales							
Modo de Control Proporcional con Reajuste (PI)							
Corrida	SP	BP	PV	Y <sub>P</sub>	Y <sub>P+RESET</sub>	K	t
	%	%	%	%	%	%	s
1						0	

### 8.6 Secuencia de cálculos.

Calcular la velocidad del reajuste.

**Ejemplo.** Se tiene un controlador proporcional con reajuste del cual se sabe que es de acción inversa; trabaja con una banda proporcional de 25 %, constante de válvula cero. Cuando se provoca un cambio de carga el valor de la variable es de 67.4 %, con un punto de ajuste del 70 % y la salida del controlador es de 10.4 %; para eliminar la desviación se aplica un reajuste que al cabo de 17 segundos hace coincidir a la variable con el punto de ajuste y la salida del controlador cambia a 11.1 %. Calcular el valor del reajuste en repeticiones sobre minuto.

$$Y_{P+RESET} = \frac{PV - SP}{BP} + K + \frac{PV - SP}{BP} r t$$

Y<sub>P</sub> = Acción correctiva proporcional.

Y<sub>P+RESET</sub> = Acción correctiva proporcional con reajuste.

r = número de veces que se realiza la acción correctiva [=] veces/minuto

t = tiempo en que se tarda en eliminar la desviación [=] minutos

PV = 67.4 %

BP = -25 %

SP = 70 %

t = 17 segundos = 17 / 60 = 0.2833 minutos

k = 0

Y<sub>P</sub> = 10.4 %

Y<sub>P+RESET</sub> = 11.1 %

Sustituyendo valores:

Los valores se sustituyen en fracción es decir se dividen entre 100 cada uno de los datos experimentales.

$$0.111 = \frac{0.674 - 0.70}{-0.25} + \frac{0.674 - 0.70}{-0.25} r (0.2833)$$

$$0.111 = 0.104 + (0.104)(0.2833)r$$

$$0.111 = 0.104 + 0.02946 r$$

$$r = \frac{0.111 - 0.104}{0.02946}$$

$$r = 0.2375 \approx 0.24 \frac{\text{veces}}{\text{minuto}}$$



1) Calcular el valor de la Banda Proporcional (BP).

Datos:

PV1 = Y1 =

PV2 = Y2 =

BP = ?

Fórmula: 
$$BP = \frac{PV_2 - PV_1}{Y_2 - Y_1} 100$$

2) Calcular el valor del reajuste en repeticiones sobre minuto.

Datos:

PV = BP =

SP = t =

k = Y<sub>P+RESET</sub> =

Y<sub>p</sub> =

r = repeticiones por minutos = ?

Fórmula 
$$Y_{P+RESET} = \frac{PV - SP}{BP} + K + \frac{PV - SP}{BP} r t$$

8.7 Tabla de resultados.

Tabla de Resultados Controlador Proporcional con Reajuste (PI)								
Corrida	SP	BP	PV	Y <sub>P</sub>	Y <sub>P+RESET</sub>	K	t	r
	%	%	%	%	%	%	minutos	rep/min
1						0		

**NOTA:** Para el caso del Equipo IMEPI el Controlador es de acción directa y la constante de la Válvula K = 1.

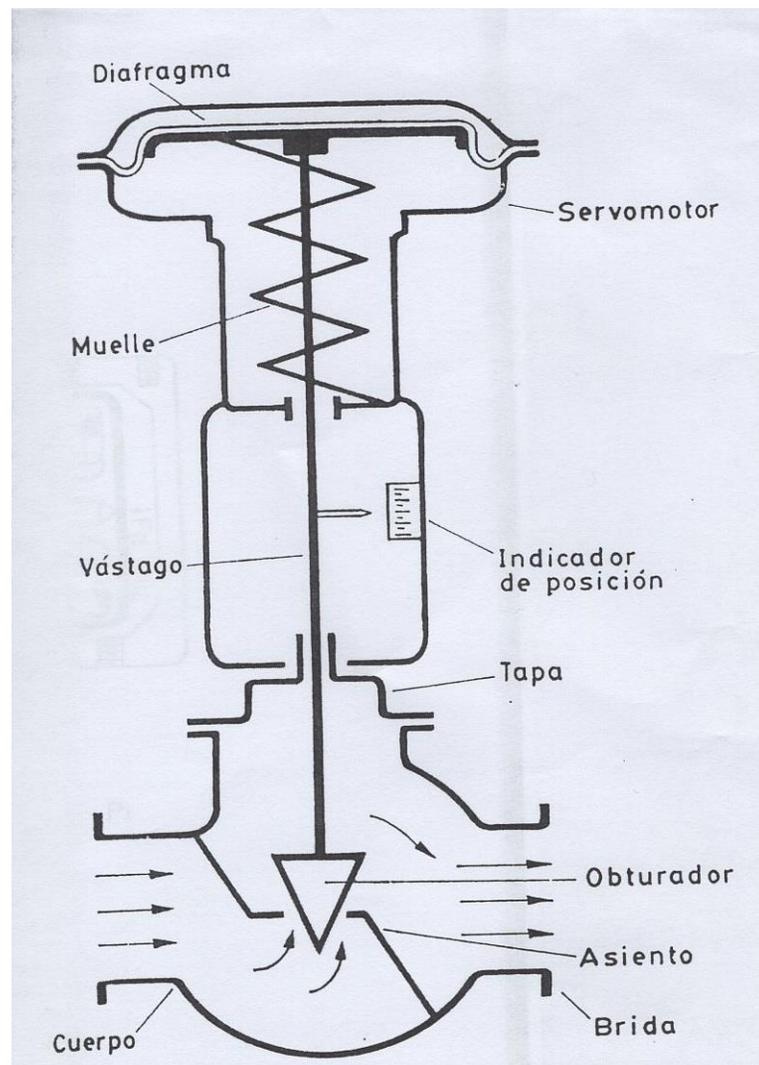


## **8.8 Análisis de resultados.**

## **8.9 Conclusiones.**

# PRACTICA 9

## VÁLVULA DE CONTROL



### Contenido de la práctica.

- 9.1 Objetivo.
- 9.2 Síntesis de la teoría.
- 9.3 Equipo utilizado en la práctica.
- 9.4 Instructivo de operación de la práctica.
- 9.5 Tabla de datos experimentales.
- 9.6 Secuencia de cálculos.
- 9.7 Tabla de resultados y gráficas.
- 9.8 Análisis de resultados (de tabla y de gráficas)
- 9.9 Conclusiones.

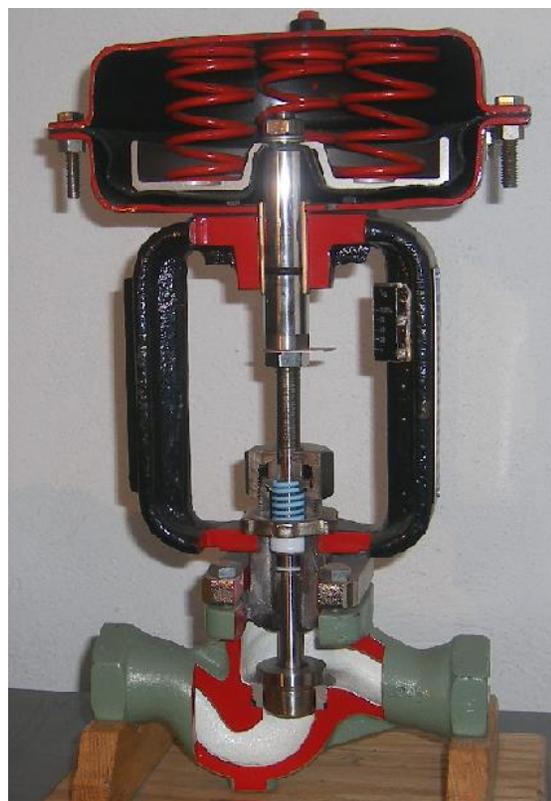
#### 9.1 Objetivo.

Determinar el tamaño y tipo de una válvula de control instalada en un equipo, realizar las diferentes curvas características de flujo de una válvula de control.

#### 9.2 Síntesis de la teoría.

##### Válvula de control tipo globo.

La válvula de control es el elemento final de control que regula el flujo de un fluido en un proceso controlado. Ver figura 9.1.



**Figura 9.1.** Partes Internas Básicas de una Válvula de Control Tipo Globo.



Una válvula de control esta compuesta de las siguientes partes:

- a) cuerpo de la válvula.
- b) asientos.
- c) vástago.
- d) obturador o tapón.
- e) actuador

El **cuerpo de la válvula de control** contiene en su interior el obturador y los asientos, y está provista de rosca o de bridas para conectar la válvula con la tubería.

El **obturador** es quien realiza la función de control de paso del fluido y puede actuar en dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo. Está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor o actuador.

El **servomotor o actuador neumático** es accionado por la señal neumática de 3 a 15 psi (0.2 a 1 kgf/cm<sup>2</sup>) enviada por el controlador o el convertidor de señal. El servomotor está conectado directamente a un vástago que posiciona el obturador con relación al asiento.

#### **Característica de flujo de una válvula de control.**

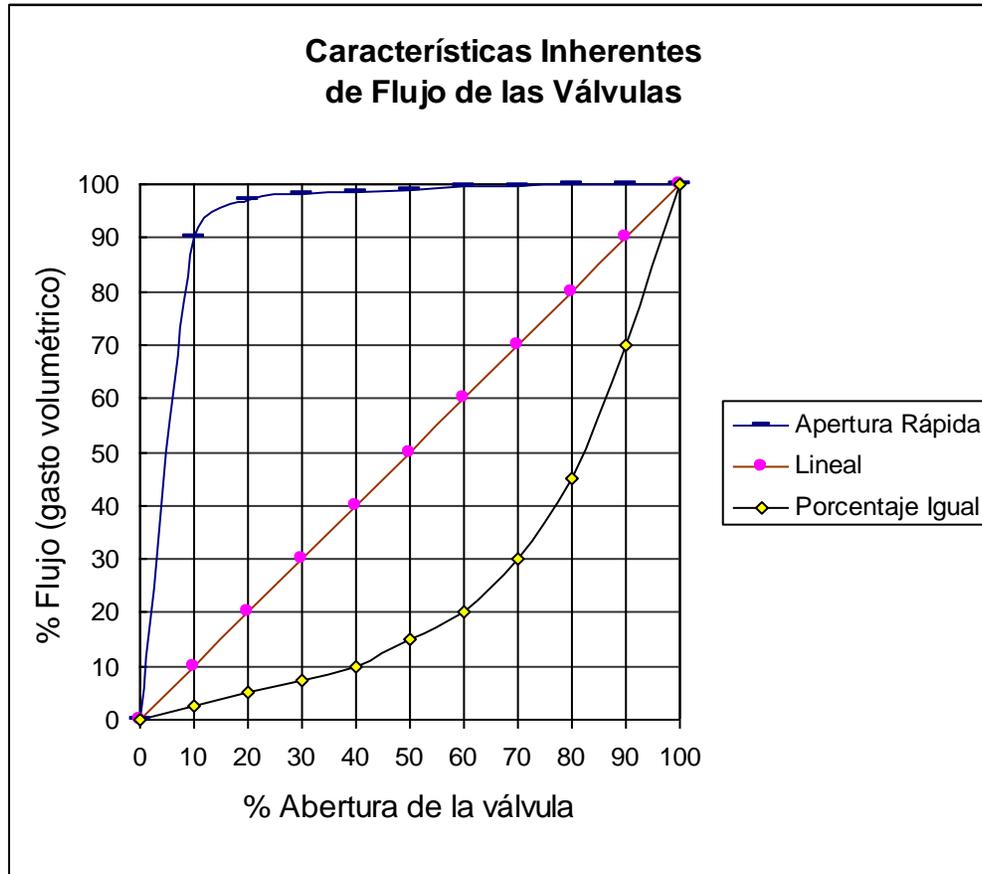
La característica de flujo de una válvula de control, es la relación que existe entre la posición del obturador y la cantidad de flujo que pasa a través del asiento de la válvula de control. El obturador o tapón de la válvula de control determina el tipo de característica de flujo.

La característica de un fluido incompresible fluyendo en condiciones de presión diferencial constante a través de la válvula de control se denomina característica de flujo o característica de caudal inherente y se representa, usualmente, considerando como abscisas la carrera del obturador (abertura de la válvula) y, como ordenadas, el porcentaje de caudal máximo bajo una presión diferencial constante. En la figura 9.2, se muestra los tipos de curvas características inherentes de flujo de una válvula de control.

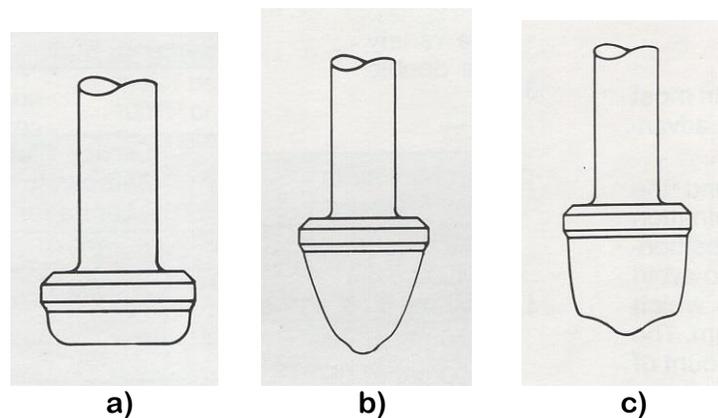
Las **Curvas Características de Flujo o Caudal más significativas** son: Apertura Rápida, Lineal e Iso-porcentual o Igual Porcentaje, siendo las más empleadas estas dos últimas. Según se observa en la gráfica siguiente. (Greene, R. W. (1992). Válvulas Selección, Uso y Mantenimiento.)

El obturador con característica de flujo de apertura rápida tiene la forma de un disco plano, con lo que el caudal aumenta mucho al principio de la carrera llegando rápidamente al máximo. Es utilizado para servicios on-off (encendido-apagado), éste tipo de obturador está diseñado básicamente para producir el máximo flujo rápidamente. Ver figura 9.3

En el obturador con característica de flujo lineal, el caudal es directamente proporcional a la carrera. El obturador lineal es utilizado en sistemas donde la caída de presión de la válvula es la mejor porción de la caída de presión total del sistema. Ver figura 9.3



**Figura 9.2.** Tipos de Curvas Características Inherentes de Flujo de una Válvula de Control.



**Figura 9.3.** Tipos de Obturadores que Utilizados en Válvulas de Control para Determinar el Tipo de Característica de Flujo: a) Tipo de Obturador que Determina la Característica de Flujo Abertura rápida, b) Tipo de Obturador que Determina la Característica de Flujo Lineal, c) Tipo de Obturador que Determina la Característica de Flujo Igual Porcentaje.



En el obturador con característica de flujo de igual porcentaje (iso-porcentual), cada incremento en porcentaje de carrera del obturador produce un incremento porcentual igual en el caudal. Este tipo de obturador es el más utilizado en el control de procesos. Ver figura 9.3

**Característica de flujo efectiva (instalada o de operación):**

En la mayor parte de las válvulas de control que trabajan en condiciones reales, la presión diferencial cambia cuando varía la abertura de la válvula, por lo cual, la curva real que relaciona la carrera de la válvula con el caudal, se aparta de la característica de caudal inherente. Esta nueva curva recibe el nombre de Característica de caudal efectiva.

Como la variación de presión diferencial señalada depende de las combinaciones entre la resistencia de la tubería y las características de las bombas y tanques del proceso, es evidente que una misma válvula de control instalada en procesos diferentes presentará, inevitablemente, curvas características efectivas distintas.

Por ejemplo, en un circuito típico de un proceso industrial formado por una bomba centrífuga, la válvula de control y la tubería. Es evidente que las características de impulsión de la bomba y la pérdida de carga absorbida por el sistema variarán según sea el grado de abertura de la válvula de control. En la experimentación se podrá observar que las diferencias entre la presión de impulsión de la bomba y la pérdida de carga de la tubería al variar el caudal corresponden a la pérdida de carga absorbida por la válvula de control y que ésta aumenta al disminuir el caudal.

La necesidad universal de normalizar el cálculo de las dimensiones de las válvulas de control, no sólo en cuanto a tamaño sino también en cuanto a capacidad de paso del fluido, ha llevado a los fabricantes y a los usuarios a adoptar un coeficiente  $C_v$ , que refleja y representa la capacidad de las válvulas de control.

El dimensionamiento de una válvula de control es el procedimiento mediante el cual se calcula el coeficiente de flujo de la válvula,  $C_v$ . Cuando ya se calculó el  $C_v$  requerido y se conoce el tipo de válvula que se va a utilizar, el ingeniero puede obtener el tamaño de la válvula con base en el catálogo del fabricante.

**El Coeficiente  $C_v$  se define como:** La cantidad de agua en galones USA por minuto a la temperatura de 60 °F (15.5 °C) que fluye a través de una válvula de control completamente abierta y con una caída de presión (pérdida de carga) de 1 libra por pulgada cuadrada (psi).

Por ejemplo, en una válvula de control con un coeficiente  $C_v$  máximo de 25, deben pasar 25 GPM de agua, cuando la válvula de control se abre completamente y la caída de presión es de 1 psi.

A pesar de que todos los fabricantes utilizan el método  $C_v$  para dimensionamiento de válvulas de control, las ecuaciones para calcular  $C_v$  presentan algunas diferencias de un fabricante a otro. La mejor manera de proceder es elegir el fabricante y utilizar las ecuaciones que éste recomienda.



### Preguntas de investigación.

- 1) ¿Qué es, de qué material se fabrica y para qué sirve una válvula de control?
- 2) ¿De qué partes consta una válvula de control y cuáles son los tipos de acuerdo al tipo de señal de transmisión?
- 3) ¿Qué es la característica de flujo de una válvula de control, cuáles son los tipos de características de flujo de una válvula de control?
- 4) ¿Qué son las curvas características de caudal inherente y de caudal efectivo, para qué sirven y cómo se representan?
- 5) ¿Qué son los servomotores o actuadores en una válvula de control, cuáles son los tipos de acuerdo al tipo de señal de transmisión?
- 6) ¿Cómo funcionan los servomotores o actuadores neumáticos de acción directa y de acción inversa?
- 7) ¿Qué son los factores Cv y Kv en una válvula de control y para qué sirven?

### 9.3 Equipo utilizado en la práctica.

Simulador Neumático MECI

Equipo Multilazo IMEPI (capacidad del tanque de medición 280 litros)

Compresor de aire

### 9.4 Instructivo de operación de la práctica.

#### A) En Simulador Neumático MECI

- 1) Poner en servicio el compresor de aire. Revisar previamente el nivel de aceite. Ver pasos 2 a 6 en Equipo Multilazo IMEPI.



- 2) Abrir totalmente la válvula de compuerta de alimentación de aire que se encuentra situada en la parte trasera del Simulador Neumático MECI.



- 3) Verificar que la presión indicada en el segundo manómetro sea de 1.4 kgf/cm<sup>2</sup>, de lo contrario regularla con válvula reductora de presión.



- 4) Ajustar la posición de abertura de la válvula de control manual manejando la perilla del HIC, en posición cerrada. Donde se encuentra la letra A es abierta y donde está la letra C está cerrada la válvula de control.



- 5) Accionar interruptor de la bomba para alimentar agua al tanque de medición.



- 6) Cerrar válvula de paso (válvula de reflujo) permitiendo que el nivel de agua suba al tanque de medición.



- 7) Tomar lectura de la presión diferencial en el indicador de nivel, puntero rojo de LI (rango de 0 – 10 psi).



- 8) Modificar posición de la abertura de la válvula manual al 10 %, manejando la perilla del HIC, tomar la lectura de la presión diferencial en el indicador de nivel, puntero rojo de LI (rango de 0 – 10 psi).



- 9) Medir la altura del nivel desplazado en el tanque de medición ( $\Delta Z$ ) en un tiempo de 20 segundos.



- 10) Repetir pasos 8 al 9 para 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % y 100 % de posición de apertura de la válvula manual.
- 11) Una vez terminadas las lecturas desactivar interruptor de la bomba y descargar el tanque de medición abriendo válvula de paso.



**B) En Equipo Multilazo IMEPI (Instructivo de Operación)**

- 1) Poner en servicio el compresor. Revisar previamente el nivel de aceite.
- 2) Purgar o drenar el agua condensada acumulada dentro del compresor (abrir un poco la válvula de compuerta VC1). Con el objeto de obtener un aire más limpio a la salida del compresor.



- 3) Abrir válvula de bola VB1 o válvula de paso (girar hacia la izquierda).



- 4) Accionar botón verde.

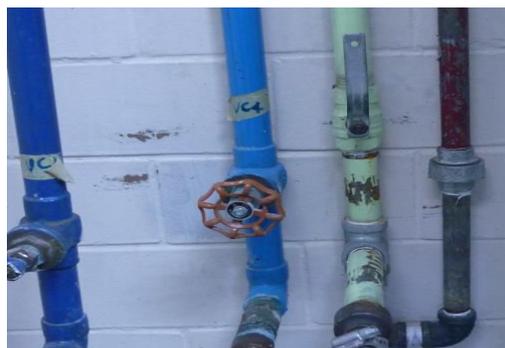




- 5) Accionar 3 interruptores (los de arriba y los de abajo). Desplazándolos hacia la derecha.



- 6) Abrir válvula principal de suministro de aire, ubicada en la pared del lado derecho del compresor (válvula de bola de tubería verde, girar hacia arriba) y accionar interruptor principal (desplazar hacia arriba).



- 7) Accionar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo, ubicados en la parte trasera del equipo Multilazo.





- 8) Abrir válvula de bola de tubería blanca para el suministro de aire al equipo, verificar que la presión no sea menor de 90 psi.



- 9) Revisar que las válvulas manuales para drenar los tanques estén cerradas.  
10) Verificar que en el tablero de control esté el selector en la Posición de “PLC”, cuando el control del sistema se realice con el Controlador Lógico Programable y con la estación con el software Aurora HMI SCADA. Y el selector de la variable de proceso esté en Flujo “F”



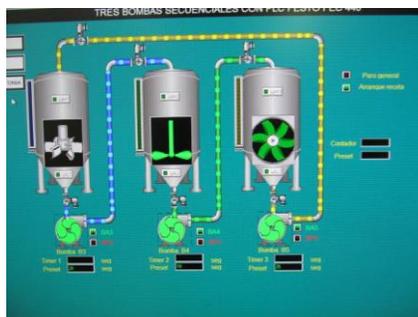
- 11) Desactivar el botón Paro de Emergencia (PE). Jalar el botón hacia uno.



- 12) Oprimir el botón de Encendido para energizar el tablero de control. Si se escucha un ruido es la alarma, oprimir Botón REC AL (Reconoce Alarma) que está en el Tablero de Control, para desactivar la alarma, o también se puede hacer en la pantalla de la computadora en el cuadrado que dice Reconoce Alarma Sonora.



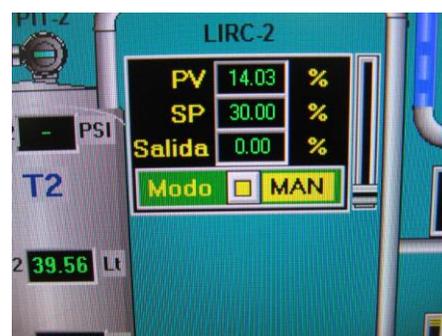
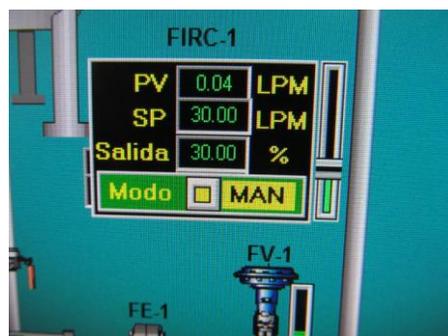
- 13) Encender computadora y esperar.
- 14) Dar doble clic en el Programa Aurora HMI SCADA.
- 15) Aparece cuadro que dice: Select Directory dar clic en Cerrar.
- 16) Dar clic en PRINCIPAL y seleccionar la primera opción en PROYECTOS RECIENTES.
- 17) Aparece en la pantalla de la computadora, un diagrama con 3 tanques.



- 18) Dar clic en RUNTIME del menú principal y seleccionar IR A TIEMPO DE EJECUCIÓN, aparecerán 2 tanques.
- 19) Verificar que los niveles de agua en los tanques T1 y T2 tengan aproximadamente 50 % de agua, si se considera necesario abrir las válvulas de bola manuales HV y HV-1 de suministro de agua al tanque T1 y en el programa Aurora HMI SCADA abrir la válvula de bola neumática V-6 (dar clic sobre la válvula).



- 20) En el controlador registrador indicador de Flujo FIRC-1, activar modo manual.
- 21) En el controlador registrador indicador de Nivel LIRC-2, puede dejar el modo automático o activar modo manual.



22) Seleccionar la opción que más le agrade para la dirección del flujo de agua.

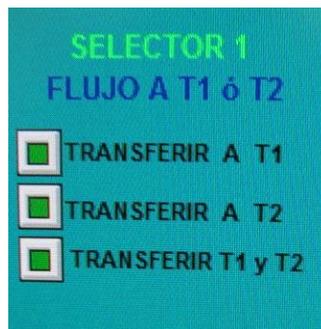
**SELECTOR 1**

- a) TRANSFERIR A T1 Nota: Sí se elige ésta opción, verificar que también esté abierta la válvula manual HV5, en caso contrario abrirla.
- b) TRANSFERIR A T2
- c) TRANSFERIR T1 y T2

**SELECTOR 2**

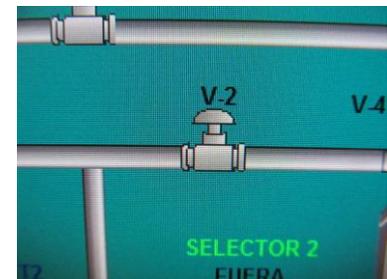
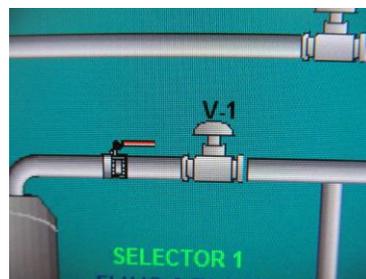
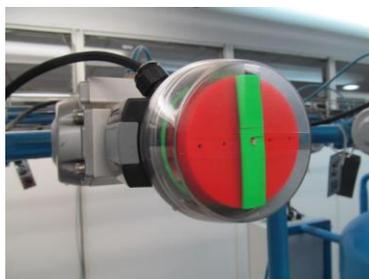
LIC-2 el cuadro debe estar en color azul claro (controlando nivel).

23) Como Ejemplo, se elige la Opción TRANSFERIR A T1.



SELECTOR 1	SELECTOR 2
 TRANSFERIR A T1 Verde claro	LIC 2  Azul claro Controlando Nivel

24) Comprobar en pantalla de operación y físicamente, que las válvulas de bola neumáticas V-1 esté abierta y V-2 esté cerrada.





- 25) Dar clic en SINTONÍA, la cual se encuentra en la parte inferior derecha, y verificar las siguientes condiciones.

En Sintonía					
CONTROL DE FLUJO			CONTROL DE NIVEL		
SP	PV	SALIDA	SP	PV	SALIDA
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
FLUJO			NIVEL		
Kc = 0.70 Ti = 2.00 minutos/repeticiones Td = <input type="text"/>			Kc = 3000 Ti = 5.0 Td = <input type="text"/>		
Acción <input type="checkbox"/> Directa <input checked="" type="checkbox"/> verde			Acción <input type="checkbox"/> Directa <input checked="" type="checkbox"/> Amarillo		

- 26) Dar clic en TANQUES.  
27) Ajustar la posición de abertura de la válvula de control moviendo la señal de SALIDA del controlador registrador indicador de flujo FIRC-1, comenzar con 0%, la escala es de 0 a 100 %.

FIRC-1	
PV=	
SP= 30 %	
Salida = 0 %	
Modo <input checked="" type="checkbox"/> Manual	
Verde claro	

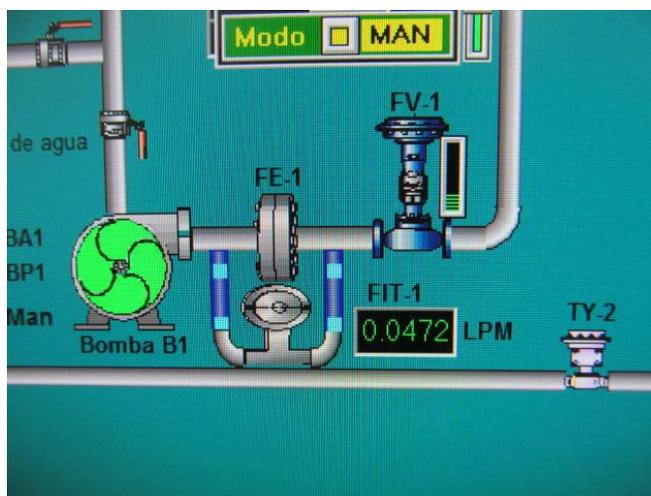
- 28) Accionar Interruptor de la Bomba 1, para retornar agua al tanque de alimentación, dando clic en BA1.



- 29) Tomar lectura de la caída de presión ( $\Delta P$ ) en Indicador de presión diferencial conectado a la válvula de control. La unidad de medida está en psi.



- 30) Tomar lectura de la variable de proceso PV correspondiente al Gasto Volumétrico (Q) en litros por minuto (LPM) que está pasando a través de la válvula de control de acuerdo al porcentaje de apertura.



- 31) Desactivar interruptor de la bomba 1, dar clic en BP1.  
 32) Repetir pasos: 24 y 25 para las lecturas restantes de posición de apertura de la válvula de control (Señal de Salida del controlador): 10 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % y 100 %.  
 33) Registrar lecturas en tabla de datos experimentales de la caída de presión ( $\Delta P$ ) y del gasto volumétrico (Q).  
 34) Una vez terminadas las lecturas Desactivar Interruptor de la Bomba dando clic en BP1.





- 35) En el controlador registrador indicador de nivel LIRC-2 Aurora HMI SCADA.
- a) Modificar SP a 0 %.
  - b) Dejar en modo manual.
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0%.
- 36) En el controlador registrador indicador de flujo FIRC-1 Aurora HMI SCADA.
- a) Modificar SP a 0 %.
  - b) Dejar en modo manual.
  - c) Modificar la señal de salida del controlador a 0%.



- 37) Dejar ambos selectores Aurora HMI SCADA en la opción FUERA.



- 38) Cerrar válvula de bola de tubería blanca para quitar el suministro de aire al equipo y válvula de bola manual de tubería azul de suministro de agua al tanque de alimentación, en caso de que ésta se haya abierto.





- 39) Dar clic en PRINCIPAL.
- 40) Seleccionar SALIR para cerrar programa sin guardar cambios.
- 41) Aparece letrero que dice: NO SE HAN GUARDADO LOS CAMBIOS A ESTE PROYECTO ¿DESEA GUARDARLOS?
- 42) Dar clic en respuesta NO.
- 43) Aparece letrero que dice: ¿DESEA TERMINAR LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO?
- 44) Dar clic en respuesta YES.
- 45) Dar clic en INICIO y seleccionar APAGAR EQUIPO.
- 46) Presionar botón Paro de Emergencia (PE).



- 47) Desactivar los 2 interruptores de alimentación de energía eléctrica al equipo.
- 48) Desactivar servicio del compresor.

### 9.5 Tabla de Datos Experimentales.

Tabla de Datos Experimentales Válvula de Control (Simulador Neumático MECI)			
Corrida	Posición de apertura de la válvula de control (HIC) %	$\Delta Z$ cm	Tiempo t Segundos
1	0		20
2	10		20
3	20		20
4	30		20
5	40		20
6	50		20
7	60		20
8	70		20
9	80		20



Tabla de Datos Experimentales Válvula de Control (Equipo IMEPI)			
Corrida	Posición de abertura de la válvula de control o Señal de Salida del controlador Y %	$\Delta P$ psi	Qoperación LPM
1	0		
2	10		
3	30		
4	40		
5	50		
6	60		
7	70		
8	80		
9	90		
10	100		

<p><b>Fórmulas</b></p> $Q \propto \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}$ $Q = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}$ $C_v = Q \sqrt{\frac{G}{\Delta P}}$ $Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = \frac{\pi}{4} D_T^2 \frac{\Delta Z}{t}$ $Q [=] \text{cm}^2 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ <p>Q [=] convertir a GPM</p>	<p><b>Donde:</b></p> <p>Q = Gasto volumétrico [=] GPM.</p> <p><math>\Delta P</math> = Caída de presión = 0- 10 lbf/pulg<sup>2</sup></p> <p>G = Gravedad específica o densidad relativa del líquido, en este caso es agua = 1</p> <p>Cv = Coeficiente de flujo para dimensionar una válvula. Es el número de GPM de H<sub>2</sub>O a 60 °F que pasan por una válvula de control, con una caída de presión de 1 psi.</p> <p>D<sub>T</sub> = Diámetro del tanque de medición = 25 cm.</p> <p><math>\Delta Z</math> = Altura medida en el tanque de medición [=] cm</p> <p>t = Tiempo transcurrido en cada una de las alturas medidas = fijar un tiempo de 20 segundos.</p>
--	---



**Cálculo del Gasto volumétrico Q (Para el caso del Simulador Neumático MECI)**

Fórmula a utilizar  $Q = \frac{[\pi D_T^2 \Delta Z]}{4 t} [=] \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$

**Factores de conversión para pasar de cm<sup>3</sup>/s a galones por minuto (GPM)**

$$Q [=] \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \left| \frac{1 \text{ litro}}{1000 \text{ cm}^3} \right| \left| \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} \right| \left| \frac{1 \text{ Galón}}{3.7854 \text{ litros}} \right|$$

$$Q = \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} [0.015850372] [=] \text{GPM}$$

$$Q = \frac{\pi}{4} D_T^2 \frac{\Delta Z}{t} [0.015850372] [=] \text{GPM}$$

### 9.6 Secuencia de Cálculos.

- 1) Calcular el gasto volumétrico (Q en GPM).
- 2) Calcular el coeficiente de la válvula de control  $C_v$  con el flujo obtenido (Q en GPM) y las  $\Delta P$  (en lbf/pulg<sup>2</sup>) leídas en el Indicador de presión diferencial.
- 3) Calcular los valores del gasto o caudal volumétrico a % Q.
- 4) Calcular los valores del Coeficiente de la válvula de control a %  $C_v$



### 9.7 Tabla de resultados y gráficas.

Tabla de Resultados Válvula de Control							
Corrida	Posición de apertura de la válvula de control %	$\Delta P$ PSI	Q operación			$Cv = \frac{Q}{\sqrt{\frac{G}{\Delta P}}}$	Cv %
			LPM	GPM	%		
1	0						
2	10						
4	30						
5	40						
6	50						
7	60						
8	70						
9	80						
10	90						
11	100						

#### Elaboración de las Gráficas.

##### Identificación de Variables:

% Salida (posición de apertura de la válvula de control = señal de salida del controlador),

Cv (Coeficiente de la válvula de control),

% Q (Gasto volumétrico o caudal es la cantidad de fluido que pasa por la válvula de control por unidad de tiempo con respecto al porcentaje de apertura de la válvula de control).

##### a) Gráfica 1.

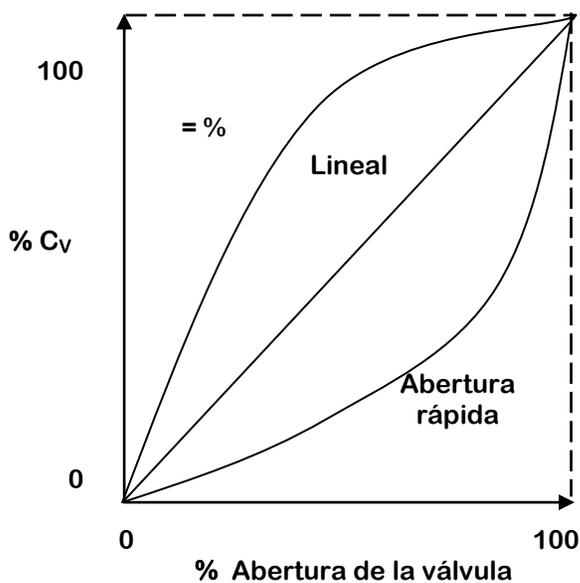
- 1) Registrar en el eje de las "X" los % de posición de apertura de la válvula de control (que tanto está abierta la válvula).
- 2) Registrar en el eje de las "Y", los % Cv (los diferentes valores que va tomando el coeficiente de la válvula con respecto a la posición de apertura de la válvula de control o señal de salida del controlador).
- 3) Señalar a qué tipo de curva característica de flujo de la válvula de control corresponde, al compararla con las curvas características de diseño o inherentes.



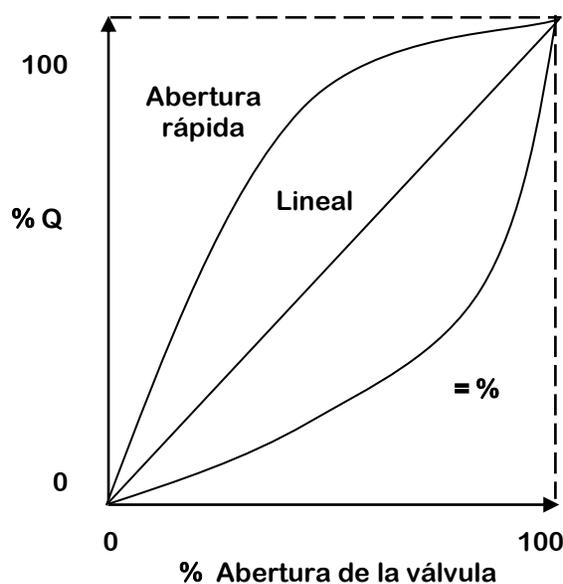
**b) Gráfica 2.**

- 1) Registrar en el eje de las “X” los % de posición de abertura de la válvula de control (que tanto está abierta la válvula).
- 2) Registrar en el eje de las “Y”, los % Q (los diferentes valores que va tomando el caudal con respecto a la posición de abertura de la válvula de control o señal de salida del controlador).
- 3) Señalar a qué tipo de curva característica de flujo de la válvula de control corresponde, al compararla con las curvas características instaladas real o efectiva.

A continuación, se muestran las diferentes curvas características de flujo de la válvula de control para que identifiquen las curvas características experimentales a cuál de los tres tipos se asemeja tanto en la Curva Característica de Diseño como la Curva Característica Real o Efectiva.



Curva Característica de Diseño o Inherente

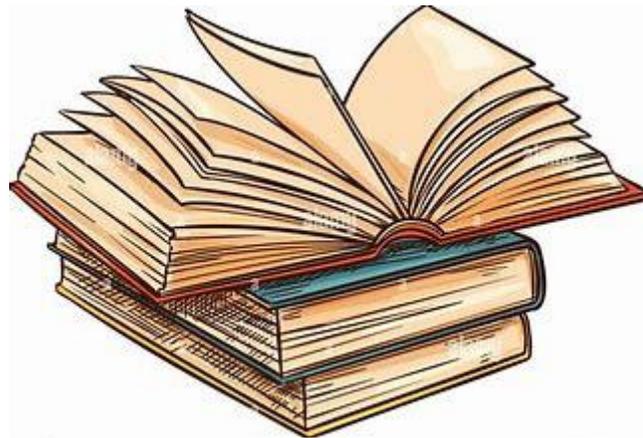


Curva Característica Instalada, Real o Efectiva

**9.8 Análisis de resultados (de tabla y de gráficas).**

**9.9 Conclusiones.**

# **BIBLIOGRAFÍA**





### **Bibliografía.**

- Ávalos, G. et al. (2002). Teoría de Control. 1ª Edición, Editorial IPN.
  
- Creus, A. (2011). Instrumentación Industrial. 8ª Edición, Editorial Alfaomega Grupo Editor, 792 Páginas, ISBN:978-607-707-042-9.
  
- Diario Oficial. (2 de julio de 1987). NOM-Z-61-1987. Norma Oficial Mexicana. Símbolos e Identificación de Instrumentación.
  
- DirectIndustry. Manómetro de tubo Bourdon.  
<https://www.directindustry.es/prod/schmierer-gmbh/product-207535-210535-2105691.html>
  
- Díaz, R. (1999). Laboratorio de Instrumentación y Control. Primera Edición, Editorial IPN, México, 187 Páginas, ISBN:970-18-3525-5.
  
- Enriquez, G. (2006). El ABC de la Instrumentación en el Control de Procesos Industriales. Editorial Limusa, México.
  
- Greene, R. W. (1992). Válvulas Selección, Uso y Mantenimiento. Primera Edición, Editorial Mc Graw-Hill, México.
  
- Nacif, J. (1980). Ingeniería de Control Automático. Tomos I y II, México.



- Ramírez, J. C. (2001). El Maravilloso Mundo de la Instrumentación. Editorial Subdirección General de Capacitación y Desarrollo Profesional, México.
  
- Smith, C. A., Corripio, A. B. (1991). Control Automático de Procesos. Teoría y Práctica”, Primera Edición, Editorial Limusa, México.
  
- StuDocu. (2022). Práctica 5. Termopares.  
<https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-politecnico-nacional/instrumentacion-y-control/practica-5-termopares/46173656>
  
- Thermal Engineering. (28 de mayo de 2024). Prensa Hidráulica | Funcionamiento, Aplicaciones en Formado y Moldeo.  
<https://www.thermal-engineering.org./es/prensa-hidraulica-funcionamiento-aplicaciones-en-formado-y-moldeo/>
  
- Villalobos, G. (1999). Medición de Flujo Placas de Orificio, Toberas de Flujo y Tubos Vénturi. Editorial Limusa, Noriega Editores, México.
  
- Villajulca, J. C. (6 de marzo de 2012). Errores comunes en calibración de instrumentación: zero, span, linealidad, histéresis.  
[https:// instrumentacionycontrol.net/errores-comunes-en-calibracion/](https://instrumentacionycontrol.net/errores-comunes-en-calibracion/)



- **Thermal Engineering.** (28 de mayo de 2024). [Prensa Hidráulica | Funcionamiento, Aplicaciones en Formado y Moldeo.](https://www.thermal-engineering.org/es/prensa-hidraulica-funcionamiento-aplicaciones-en-formado-y-moldeo/)

<https://www.thermal-engineering.org/es/prensa-hidraulica-funcionamiento-aplicaciones-en-formado-y-moldeo/>

- **WIKA.** [Balanza de Pesos Muertos.](https://wika.com.mx/products_pressure_balances_es_es.WIKA#!)

[https://wika.com.mx/products\\_pressure\\_balances\\_es\\_es.WIKA#!](https://wika.com.mx/products_pressure_balances_es_es.WIKA#!)