

# **GUÍA DE PRÁCTICAS DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN**

**Escuela de Ingeniería Mecánica**

**Prof. Marcos GUILLEN  
Prof. Jean F. DULHOSTE**

## PRACTICA 1

### CALIBRACION DE UN MANOMETRO CON MECANISMO DE AMPLIFICACION DE PIÑÓN CREMALLERA

#### 1. INTRODUCCION.

#### 2 FUNDAMENTOS TEORICOS

##### 2.1 El manómetro.

Un manómetro es un aparato que sirve para medir la presión de gases o líquidos contenidos en recipientes cerrados.

Los manómetros son de dos tipos, entre los cuales tenemos:

a) **Manómetros del tipo abierto:** Para medir presiones manométricas.

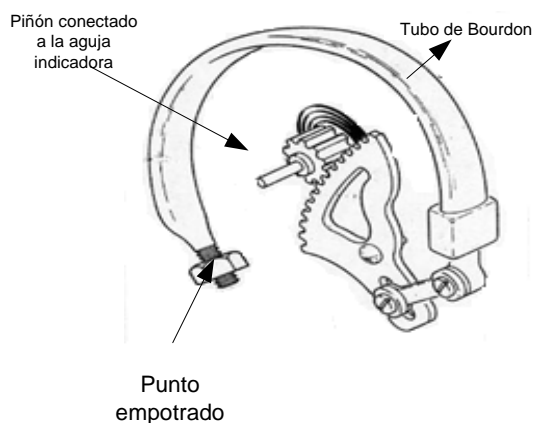
b) **Manómetros diferencial:** Para medir diferencias de presión.

Los manómetros utilizados durante la práctica están compuestos principalmente por:

- a. Un tubo Bourdon tipo C, que sirve como elemento sensor de la presión.
- b. Un mecanismo de amplificación formado por un piñón y una cremallera.
- c. Una carátula con la escala impresa.
- d. Una aguja indicadora.

El funcionamiento del manómetro se basa en la propiedad que tiene el tubo Bourdon de deflectarse al recibir presión, esta deflexión se comunica a la cremallera mediante una varilla que une a esta con el extremo libre del tubo Bourdon y la cremallera a su vez engrana con el piñón que está conectado con el eje de la aguja indicadora.

Se debe tener la precaución de no someter el manómetro a presiones mayores de la permitida por la máxima del rango, ya que esto traería como consecuencia deformaciones en el tubo Bourdon y daño irreparable del manómetro.



**Fig. 1.** Partes principales del manómetro de tubo Bourdon tipo C.

## **2.2. El calibrador de pesos muertos.**

Los medidores de peso muerto constituyen el estándar primario básico usado en todo el mundo para la calibración precisa de manómetros, transductores de presión, etc. El equipo es autónomo y portátil, de manera que es posible usarlo tanto en demostraciones en el aula, como de calibrador maestro en el laboratorio.

El instrumento combina un intervalo de presión alto y uno bajo, proporcionados por dos unidades de pistón de diferente área efectiva. La presión del sistema es producida por un ariete hidráulico accionado por cabestrante, equilibrado por un peso muerto que actúa sobre un pistón de área conocida. Se utiliza aceite como fluido hidráulico. La presión desarrollada es aplicada al indicador a calibrar.

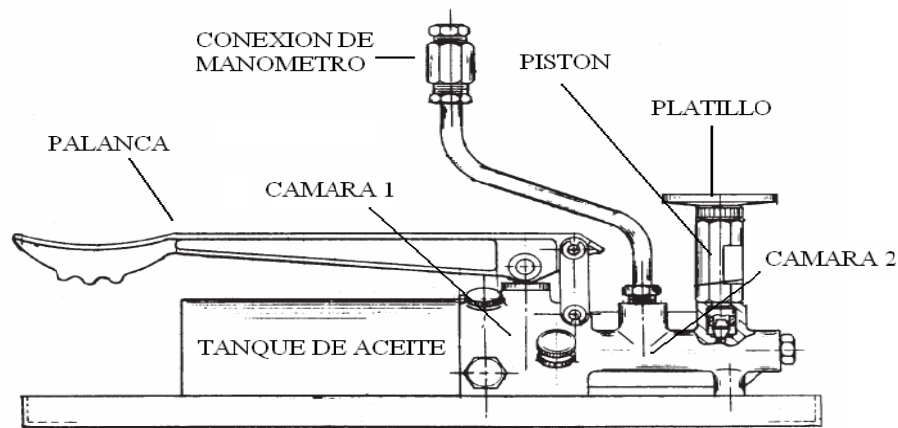
Para calibrar el manómetro se dispone en el laboratorio de un probador de pesos muertos el cual es un instrumento patrón de presión o de referencia.

Las partes que componen el probador de pesos muertos se pueden observar en las figuras 3' y 3'' que se encuentran en los anexos. El funcionamiento del probador es parecido al de una prensa hidráulica y se puede observar en la Fig. 2.

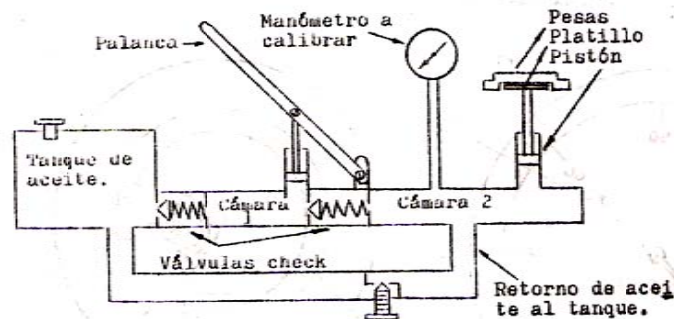
Al subir la palanca se succiona aceite del tanque hacia la cámara 1 y al bajar la palanca este aceite se comprime para que pase a la cámara 2. Cuando el pistón del platillo se encuentra flotando dentro de su cilindro la presión de la cámara 2 será la de la relación  $F/A$  donde  $F$  es la fuerza que ejerce el conjunto de pesas, platillo y pistón sobre el área  $A$  del pistón, y esta presión está calculada de manera que cada pesa tiene graduada las psi que ejerce sobre el fluido contenido en la cámara 2.

La precisión del probador de pesos muertos está condicionada por la exactitud con la cual se ha determinado el peso de las pesas que se emplean en el instrumento y la precisión con que se ha rectificado el cilindro.

Las pesas tienen grabados los valores, uno para las altas presiones  $H$  y otro para las bajas presiones  $L$ , esto le permite al probador de pesos muertos tener dos rangos de calibración diferentes, dependiendo del tipo de cilindro pistón que se utilice.



2a.



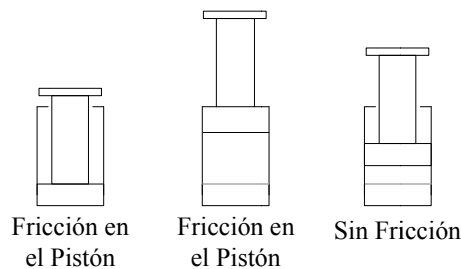
2b.

**Fig. 2.** Probador de pesos muertos.

Cuando en el probador de pesos muertos se utilice el cilindro-pistón para rango de alta presión, la presión ejercida por la pesa será la que se indica en la misma, precedida por la letra H.

Por el contrario cuando se utilice el cilindro-pistón para rango de baja presión, la presión ejercida por la pesa será la que se indica en la misma, precedida por la letra L.

Para que la presión de la cámara 2 sea la indicada en las pesas el pistón debe estar flotando a la mitad del cilindro (como se ve en la figura 3) y libre de fricción, para eliminar esta última se hace girar el platillo sobre su propio eje con un suave golpe, con la mano en su periferia.



**Fig. 3.** Posición del Pistón.

### 2.3. Características estáticas de los instrumentos.

Son aquellas que se consideran cuando la entrada del instrumento no varía con el tiempo, pueden ser de dos tipos:

<b>Deseables.</b>	<b>Indeseables.</b>
Exactitud	Error estático
Reproducibilidad	Desvío
Sensibilidad	Zona muerta.

**Exactitud:** Representa el grado de acercamiento de la salida del instrumento al valor verdadero que debe corresponder a la misma. Se expresa en función de la amplitud o de la salida del instrumento.

**Error estático:** Es la diferencia entre la salida del instrumento correspondiente a una entrada (que no varía con el tiempo) y el valor de la salida que verdaderamente debe corresponder a esa entrada.

**Reproducibilidad:** Es el grado de acercamiento de la salida del instrumento para una entrada correspondiente, la cual se repite bajo condiciones idénticas a través del tiempo.

**Desvío:** El desvío representa la forma como la salida del instrumento se desvía del valor que debe corresponder a cada entrada a través de todo su rango, existen tres tipos de desvío:

- a. Desvío de cero: Cuando la salida del instrumento se desvía en la misma cantidad, en exceso o en defecto, para todo el rango de entrada (ver fig. 4).
- b. Desvío de amplitud {o multiplicación): Cuando la salida del instrumento varía desde cero hasta un máximo en cantidades proporcionales, en exceso o en defecto (fig.4).
- c. Desvío de angularidad: aparece cuando la salida del instrumento no coincide en algún punto con el rango esperado de salida. Este error puede dar salidas mayores o menores que el valor verdadero según sea el punto considerado (fig. 4}.

**Sensibilidad:** Es el menor cambio en la entrada del instrumento para el cual este comienza a responder.

**Zona muerta:** Es el máximo rango de valores de entrada en el cual el instrumento no responde. O sea que es el doble de la sensibilidad.

**El error de Histéresis:** Es la máxima diferencia existente entre dos lecturas de n mismo valor de la variable, efectuándose, una de las lecturas cuando la variable se pasea en la dirección ascendente y la otra cuando lo hace en la dirección descendente. Este error casi siempre es despreciable si es menor que la sensibilidad del instrumento (ver Fig. 4).

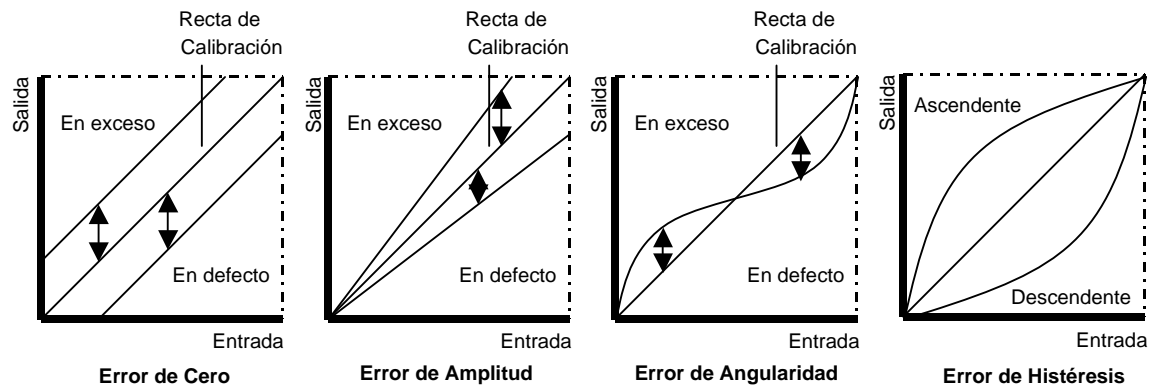


Fig. 4. Desvíos de un Instrumento

### 3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.

- Familiarizarse con términos instrumentistas tales como amplitud, rango, sensibilidad y zona muerta, para identificarlos en los instrumentos.
- Reconocer los posibles desvíos existentes en un manómetro que se encuentra descalibrado.
- Eliminar los posibles desvíos mediante un proceso de calibración utilizando un calibrador de pesos muertos.
- Comprobar que el manómetro ha quedado calibrado efectuando mediciones de presiones conocidas.

### 4. EQUIPOS Y MATERIALES

#### a) Equipos del Laboratorio

- Un calibrador de pesos muertos.
- Dos manómetros, uno con rango de 0 a 100 psi y otro con rango de 0 a 30 psi.
- Herramientas.

#### b) Materiales que debe traer el estudiante

- Formulario para la elaboración del informe

### 5. PROCEDIMIENTO.

#### Experimento 1: Valores indicados por el manómetro descalibrado

**Paso 1:** Monte en el calibrador de pesos muertos el manómetro con rango de 0-100 psi.

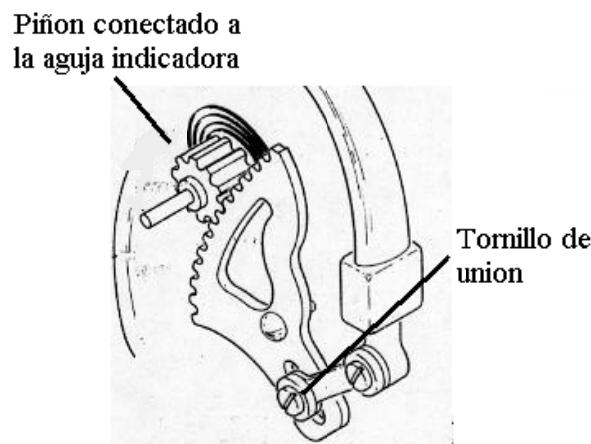
5.2. Introduzca al manómetro valores de entrada de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 psi, y anote los valores indicados por el manómetro.

**Paso 2:** Trace la gráfica de valores de salida vs valores de entrada y observe los posibles desvíos.

**Paso 3:** Proceda a calibrar el manómetro según la siguiente secuencia de pasos.

**Paso 4:**

- **Ajuste de cero:** Con el manómetro a presión atmosférica ( $P_{ent} = 0$  psi) determine la posición de la aguja indicadora con respecto al cero de la escala. Si la aguja se desvía menos del 10% de la amplitud, corrija el error mediante el tornillo de ajuste de cero. Si la desviación es mayor al 10% de la amplitud, sáquese la aguja indicadora con el extractor de aguja y recolóquese manualmente, realice el correspondiente ajuste fino con el tornillo de ajuste de cero.
- **Ajuste de amplitud ó multiplicación:** Aplicarle al manómetro la presión máxima que permita el rango del mismo, afloje el tornillo de unión y corrija el error variando la longitud del brazo de la cremallera, hasta que el valor de salida coincida con la entrada al instrumento



**Fig. 5.** Mecanismo de amplificación del manómetro.

Si la varilla de unión entre el extremo libre del tubo Bourdon y el brazo de la cremallera se mueve en la dirección A se aumenta la multiplicación y si se mueve en la dirección B se disminuye la multiplicación.

**Paso 5:** Repítanse los primeros pasos hasta que en los extremos del rango no exista error.

**Paso 5:** Sumínistrese al manómetro presiones de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 psi y trace la gráfica de valores de salida contra entrada, en caso de que se presente error de angularidad corregirlo como sigue:

Gírese el tornillo de ajuste de cero más de 1/4 de vuelta (con 0 psi de entrada), extraiga la aguja indicadora y recolóquela en cero manualmente, haga el ajuste fino con el tornillo de ajuste de cero y repita los tres primeros pasos.

**Experimento 2:**

**Paso 1:** Compruebe si el manómetro presenta error de histéresis, aplicando valores de

0, 10 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 psi en forma creciente y luego decreciente tomando nota de los valores de entrada y de salida. Observe si este error es menor que la sensibilidad del instrumento para poderlo despreciar. Haga la gráfica (amplificada si es necesario) de valores de salida contra valores de entrada, para observar el error de histéresis.

**Paso 2:** Compruebe que el manómetro ha quedado calibrado midiendo una presión en cm de Hg utilizando el manómetro de tubo en U de Hg.

**Paso 5:** En el manómetro de 0 a 30 psi, identificar sus partes: escala, aguja indicadora y elemento sensor, mecanismo de amplificación; y anotar valores de rango, amplitud, sensibilidad y zona muerta. NOTA: No se realiza la calibración de este manómetro durante la práctica porque esta es muy delicada, para lo cual se necesita tener cierta experiencia en este tipo de trabajo y además el tiempo no es suficiente para realizar la calibración. Pero el método de calibración es el mismo visto anteriormente.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- El laboratorio del ingeniero mecánico. Jesse, Seymour, Doolittle.
- Manual de mantenimiento e instalación. FOXBORO.
- Manual de mantenimiento e instalación. ASHCROFT.
- Apuntes de instrumentación. Prof.: Benito Barón.
- Manual de servicio de instrumentación industrial. C. C. Carroll.
- Curso de Instrumentación de Medición y Control. Equipex.



7 ANEXOS.

Figuras 3' y 3''

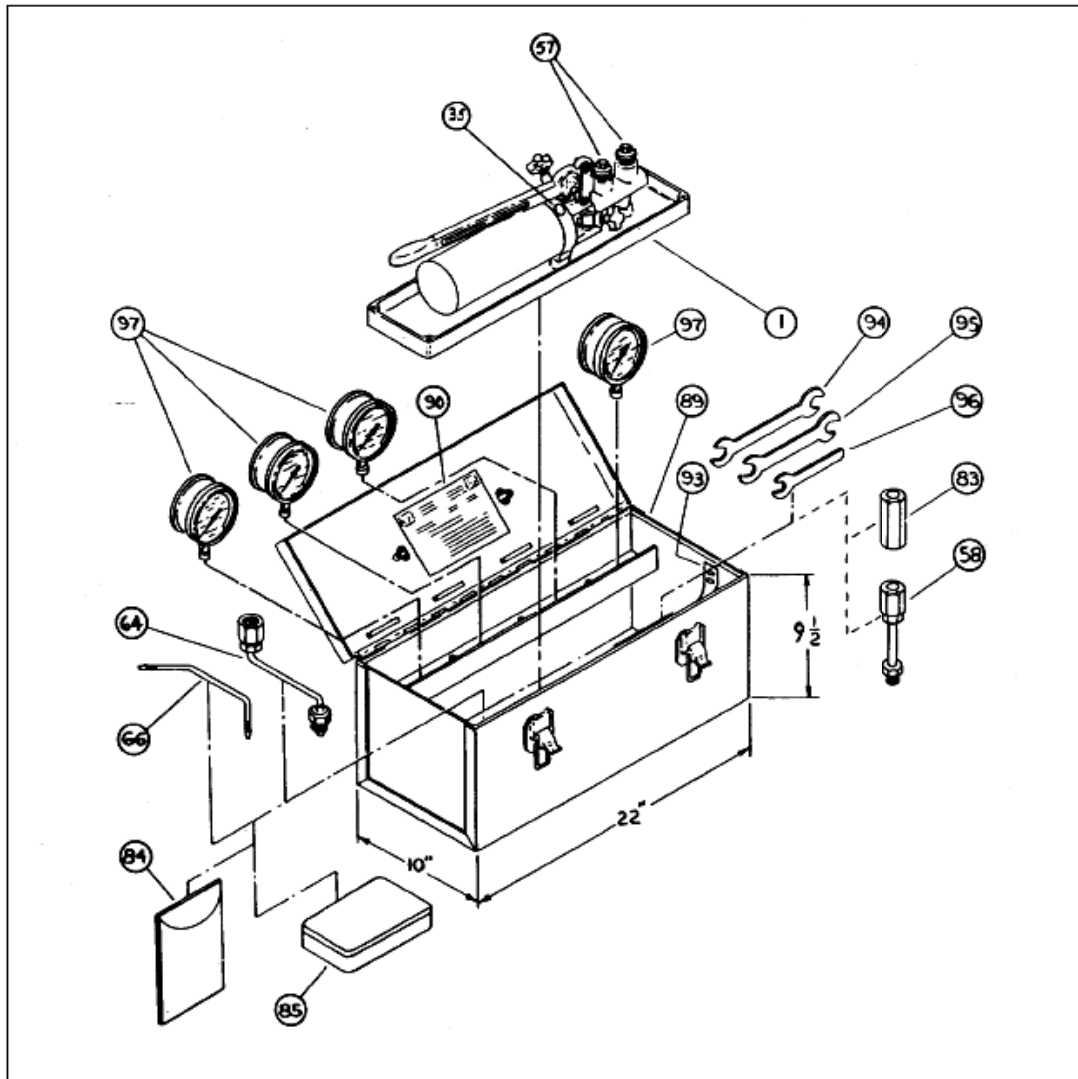
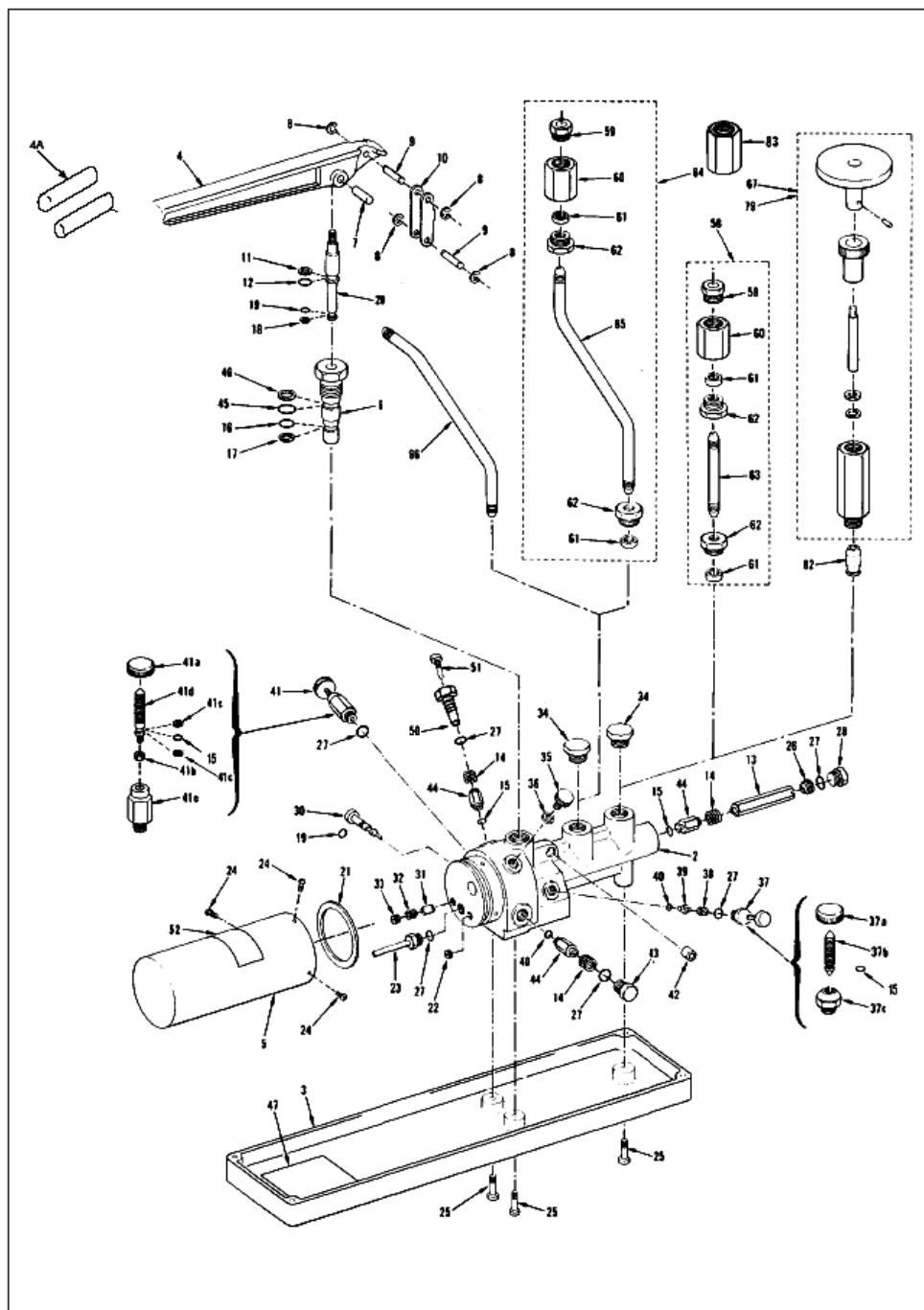


Figura 3'. Aschoft Portable Dual Range Deadweight Tester-Type 1305.



**Figura 3''.** Aschoft Portable Dual Range Deadweight Tester-Type 1305.

**PRACTICA 2.**

**CALIBRACIÓN DE REGISTRADORES CON MECANISMO DE AMPLIFICACIÓN DE CUATRO BARRAS**

**1. INTRODUCCIÓN**

Como el elemento motor de cualquier instrumento presenta un desplazamiento pequeño, es necesario amplificar este movimiento de manera que se obtenga un recorrido mayor en la aguja indicadora. Para este fin se usan los llamados mecanismos amplificadores. Existen varios tipos, entre ellos tenemos: Piñón-Cremallera, Rodillo-leva, Cuerda-Polea, Mecanismo de Cuatro Barras, etc.

En esta practica se estudiara el mecanismo de cuatro barras debido a: su simplicidad para el análisis de la amplificación de una señal, su linealidad y a que es usado para pequeñas amplificaciones.

**2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

En la Fig. 1 se muestra el esquema de un mecanismo de amplificación de cuatro barras.

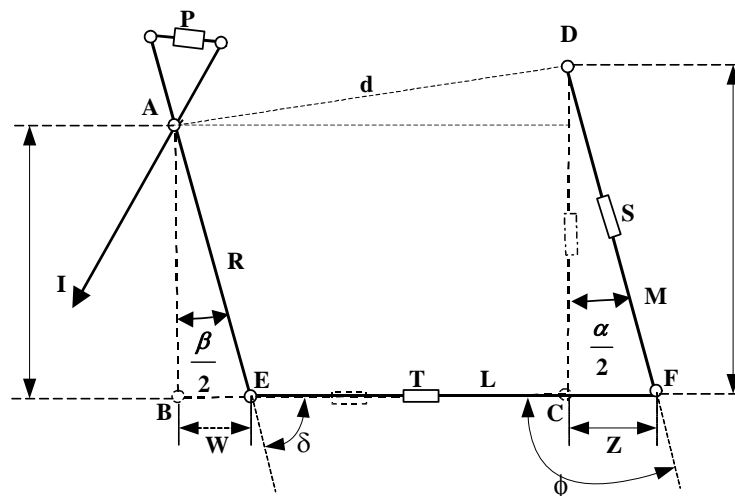


Fig.1. Mecanismo de Amplificación de Cuatro Barras.

Donde:

R = AB = AE = Longitud de la manivela receptora.

M = DC = DF = Longitud de la manivela motora.

L = BC = EF = Longitud de la biela.

d = AD = Distancia entre los ejes motor (D) y receptor (A).

$\alpha$  = Movimiento angular de la barra motora.

$\beta$  = Movimiento angular de la barra receptora.

I = Aguja indicadora.

T = Ajuste de la longitud L (Desvió de Angularidad)

S = Ajuste de la longitud M (Desvió de Amplitud)

P = Ajuste de cero.

En los mecanismos de amplificación de cuatro barras se cumplen las siguientes expresiones:

$$a) \frac{M}{R} = \frac{\beta \cos \beta / 2}{\alpha \cos \alpha / 2} \qquad b) d^2 = L^2 + (M - R)^2$$

La expresión (a) se deduce del a través de la un análisis de la Fig. 1. En la Fig. 1 se observa que:

$$\cos \beta / 2 = X / R \rightarrow X = R \cos \beta / 2 \qquad (1)$$

$$\cos \alpha / 2 = Y / M \rightarrow Y = M \cos \alpha / 2 \qquad (2)$$

$$\operatorname{tg} \beta / 2 = W / X \rightarrow W = X \operatorname{tg} \beta / 2 \qquad (3)$$

$$\operatorname{tg} \alpha / 2 = Z / Y \rightarrow Z = Y \operatorname{tg} \alpha / 2 \qquad (4)$$

$$L - Z + W = L \rightarrow Z = W \rightarrow Y \operatorname{tg} \alpha / 2 = X \operatorname{tg} \beta / 2 \qquad (5)$$

Sustituyendo (1) y (2) en (5):

$$M \cos \alpha / 2 * \operatorname{tg} \alpha / 2 = R \cos \beta / 2 * \operatorname{tg} \beta / 2 \qquad (6)$$

Despejando de la ecuación (6):

$$\frac{M}{R} = \frac{\cos \beta / 2 \operatorname{tg} \beta / 2}{\cos \alpha / 2 \operatorname{tg} \alpha / 2} \qquad (7)$$

Para ángulos pequeños se cumple que:

$$\lim_{\beta/2} \operatorname{tg} \beta / 2 = \beta / 2 \qquad (8) \qquad \lim_{\alpha/2} \operatorname{tg} \alpha / 2 = \alpha / 2 \qquad (9)$$

Sustituyendo (8) y (9) en (7):

$$\frac{M}{R} = \frac{\beta / 2 \cos \beta / 2}{\alpha / 2 \cos \alpha / 2} = \frac{\beta \cos \beta / 2}{\alpha \cos \alpha / 2}$$

De esta forma queda demostrado que se cumple la expresión (a) para el mecanismo de cuatro barras.

Como se puede observar la relación entre  $\alpha$  y  $\beta$  no es perfectamente lineal pero usualmente en el diseño existe flexibilidad en la escogencia de  $\beta$ , de tal forma que la relación  $(\cos \beta / 2) / (\cos \alpha / 2)$  sea lo más próxima posible a la unidad, sin olvidar los requerimientos de amplificación que sean necesarios, entonces si  $(\cos \beta / 2) / (\cos \alpha / 2) \approx 1$ , tenemos que  $\beta \approx (M/R) \alpha$  y así el factor de linealidad entre  $\alpha$  y  $\beta$  será la relación  $M/R$ .

Para la expresión (b) tenemos que utilizando el teorema Pitágoras al triángulo ADG (obsérvese la Fig.1).

$$(AD)^2 = (AG)^2 + (DG)^2 \quad d^2 = L^2 + (M - R)^2$$

Esta ecuación se cumple exactamente cuando  $\beta/2 = 0$  y  $\alpha/2 = 0$ . Pero cuando  $\beta/2 \neq 0$  y  $\alpha/2 \neq 0$  tenemos que:

$$d^2 = (L + R \sin \beta/2 - M \sin \alpha/2)^2 + (M \cos \alpha/2 - R \cos \beta/2)^2$$

De esta manera nos damos cuenta que las ecuaciones (a) y (b) tienden a ser exactas a medida que  $\beta/2$  y  $\alpha/2$  tienden a cero, por tanto esta posición del mecanismo de cuatro barras se hace coincidir con la lectura de la mitad del rango para que cuando el mecanismo recorra todo el rango del instrumento los ángulos  $\beta/2$  y  $\alpha/2$  sean siempre ángulos pequeños.

### 3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.

- Conocer el principio de amplificación mecánica usando un mecanismo de cuatro barras.
- Reconocer los posibles desvíos en un registrador descalibrado el cual usa un mecanismo de amplificación de cuatro barras.
- Eliminar los posibles desvíos mediante un proceso de calibración, usando para ello un manómetro patrón.

### 4. EQUIPOS Y MATERIALES

#### a) Equipos del Laboratorio

- Un registrador de presión de 0 a 80 psi el cual usa como amplificador un mecanismo de cuatro barras.
- Un regulador de presión.
- Un manómetro de 0 a 100 psi. Previamente calibrado.
- Una toma de aire comprimido con presión mayor o igual a 100 psi.
- Herramientas adecuadas al equipo antes mencionado.

#### b) Materiales que debe traer el estudiante

- Escalímetro o regla con escala de 0 a 30 cm.
- Un compás de puntas secas.
- Un transportador para medir ángulos.
- Formulario para la elaboración del informe

### 5. PROCEDIMIENTO

### Experimento 1: Verificación de la calibración del Instrumento

Para el experimento se dispone de un registrador de 0 a 80 psi, un manómetro previamente calibrado de 0 a 100 psi y un regulador de presión tal como se muestra en la Fig. 2.

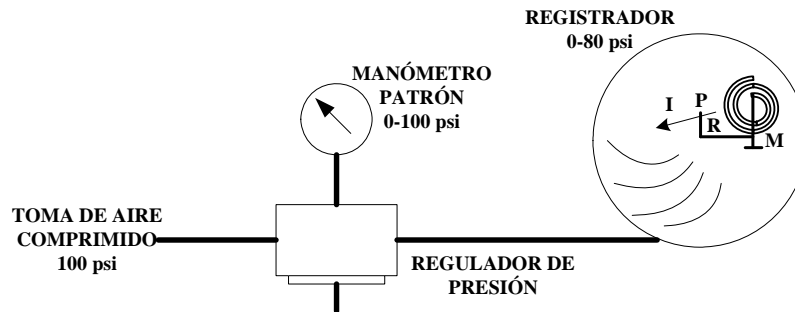


Fig. 2. Arreglo para el procedimiento de calibración.

**Paso 1:** Por medio del regulador de presión aplique al instrumento a calibrar valores de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 psi. Para aumentar la presión, se le da vuelta a la perilla del regulador en sentido horario y, para disminuir la presión se le da vuelta en sentido antihorario.

**Paso 2:** Trace una gráfica de valores de salida contra valores de entrada y observe los posibles desvíos. Analice los resultados

### Experimento 2: Calibración del desvío de cero y de amplitud

**Paso 1:** Coloque una entrada igual al 50 % de la amplitud y forme un ángulo  $\phi=90^\circ$  por medio del embrague que está en el eje del motor (D). Aflojando los dos tornillos de estría se puede rotar la manivela motora (M) sobre su eje hasta que  $\phi=90^\circ$  y luego se vuelven a apretar los tornillos del embrague.

Forme un ángulo  $\delta = 90^\circ$  por medio del ajuste de longitud (T) de la biela (L). Observe la Fig. 1.

**Paso 2:** Suministre un valor igual a 0 % de la amplitud e iguale la entrada a la salida con el ajuste de cero (P).

**Paso 3:** Con una entrada igual al 100 % de la amplitud determine la salida y el error estático. Por medio del ajuste de la longitud (s) de la barra motora (M) modifique la salida hasta un valor verdadero en un 50 % del error. Nota: Cuando el error estático sea menor del 2% de la amplitud, coloque el valor de salida directamente sobre el valor verdadero.

**Paso 4:** Repita los pasos 1 y 2 hasta que los valores de entrada coincidan con los valores de salida.

**Paso 5:** Realice una grafica de valores de entrada contra valores de salida aplicando valores de presión tal como lo hizo en el **Paso 1** del **Experimento 1**. Analice los resultados

### Experimento 3: Calibración de Angularidad

**Paso 1:** Para el caso en que los valores de entrada no coincidan con los valores de salida en la mitad del rango proceda de la siguiente manera: Ajuste la entrada al 50 %

de la amplitud y por medio del ajuste de longitud (T) de la biela (L) aumentese el error 5 veces. Después de esto repita los pasos 2, 3,4 y 5.

**Paso 2:** Realice una grafica de valores de entrada contra valores de salida aplicando valores de presión tal como lo hizo en el **Paso 1** del **Experimento 1**. Analice los resultados

**Paso 3:** Luego que se haya calibrado el instrumento suminístrele una presión igual al 50 % de la amplitud y mida las longitudes L, M, R, d. Así como los ángulos  $\beta/2$  y  $\alpha/2$  cuando la aguja indicadora recorre todo el rango.

### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Practica de Laboratorio de Instrumentación
- Manual de mantenimiento e instalación. FOXBORO.

## **PRACTICA 3**

### **ESTUDIO PRÁCTICO DE TRANSMISORES NEUMÁTICOS**

#### **1. INTRODUCCIÓN**

Cuando los sistemas de control de un proceso se centralizan en un sitio predeterminado (una sala de control por ejemplo), se hace necesario enviar las señales correspondientes a las variables del proceso hacia esa sala de control. Cuando se trata de medición de presión el envío de dichas señales puede hacerse mediante los transmisores de presión, los cuales pueden ser neumáticos o electrónicos.

Los transmisores neumáticos tienen la finalidad de convertir la variable que entra al transmisor en una señal neumática que puede ser de:

- 3 a 15 psi
- 3 a 27 psi
- 3 a 50 psi

El rango de señales frecuentemente usado es de 3 a 15 psig. El valor de 3 psig corresponde al valor mínimo de la variable y el de 15 psig al valor máximo.

Por ejemplo, un transmisor de presión del tipo neumático de 30 a 90 psi, enviará una señal de 3 psig cuando la presión sea 30 y cuando la presión sea de 90psi enviará 15 psig.

#### **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Existen varios modelos de transmisores neumáticos, pero en esta práctica solo se estudiarán los dos siguientes:

- a. Transmisor de presión diferencial modelo 13.
- b. Transmisor de presión absoluta modelo 11GM.

##### **2.1. Transmisor de presión diferencial modelo 13.**

El transmisor de presión Modelo 13 es un instrumento neumático por balance de fuerzas, el cual mide presión diferencial y la transmite como una señal de salida neumática proporcional. En la Fig 1 puede verse una foto del modelo del transmisor. Este transmisor está disponible para señales de salida de 3 a 15 psi o 20 a 100 KPa. El transmisor es usado en aplicaciones de presión diferencial para las variables de flujo, nivel de líquido y otras.





Fig 1. Transmisor de presión diferencial modelo 13

### 2.1.1. Funcionamiento del transmisor de presión diferencial

Las presiones de alta y baja están conectadas a lados opuestos de una cápsula de doble diafragma. La fuerza en la cápsula es transmitida por medio de un fleje al extremo inferior de la barra de fuerzas. El sello del diafragma sirve como pivote para la barra de fuerzas y como sello para la cámara de presión. La fuerza es transmitida a través del fleje conector a la barra gama, la cual hace pivote en la rueda de ajuste de gama.

Cualquier movimiento de la barra de gama provoca un pequeño cambio en la separación entre la lengüeta y la tobera. Esto produce un cambio en la presión de salida del relevador al fuelle de retroalimentación hasta que la fuerza en el fuelle de retroalimentación balancee la fuerza en la cápsula del diafragma.

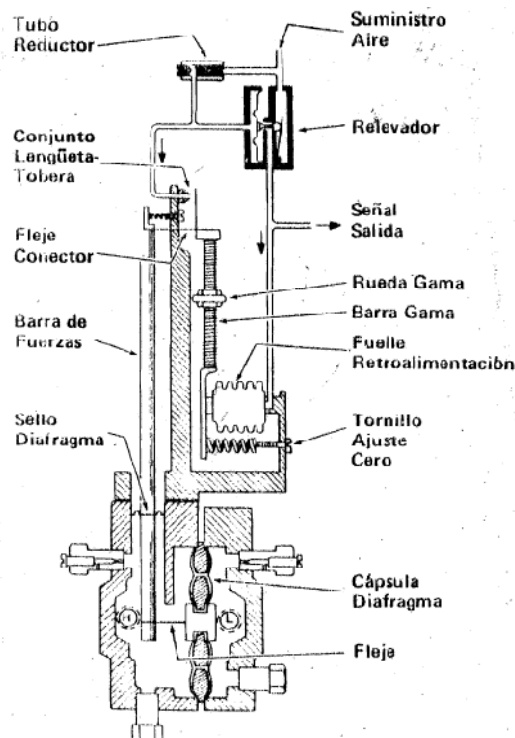


Fig. 2. Esquema de funcionamiento del Transmisor de presión diferencial

La presión de salida, la cual es originada por este balance de fuerzas, es la señal transmitida y es proporcional a la presión diferencial aplicada a la cápsula del diafragma. Esta señal es transmitida a un receptor neumático para registrar, indicar y/o controlar.

## 2.2. Transmisor de presión modelo 11MG.

El transmisor de presión modelo 11MG es también un instrumento por balance de fuerzas que mide la presión y la transmite como una señal neumática proporcional de 3 a 15 psia o 20 a 100 kPa.

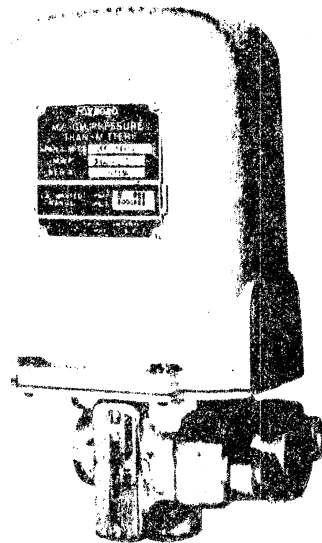


Fig 3. Transmisor de presión modelo 11MG

### 2.2.1. Funcionamiento del transmisor de presión 11MG

La presión medida es aplicada al fuelle cápsula . La fuerza en la cápsula es transmitida a través de un fleje al extremo inferior de la barra de fuerzas. El sello del diafragma de metal sirve como pivote para la barra de fuerzas y como sello para la cámara de presión. La fuerza es transmitida a través de un fleje conector a la barra de gama la cual hace pivote en la rueda de gama.

Cualquier movimiento de la barra gama produce un cambio minúsculo en la separación entre la tobera y la lengüeta. Este cambio minúsculo, genera un cambio en la presión de salida del relevador el cual es transmitida al fuelle de retroalimentación hasta que se equilibran las la fuerzas en el sello de la cápsula. La presión de salida, la cual es originada por este balance de fuerzas, es la señal transmitida y es proporcional a la presión aplicada al fuelle cápsula. Esta señal es transmitida a un receptor neumático para registrar, indicar y/o controlar.

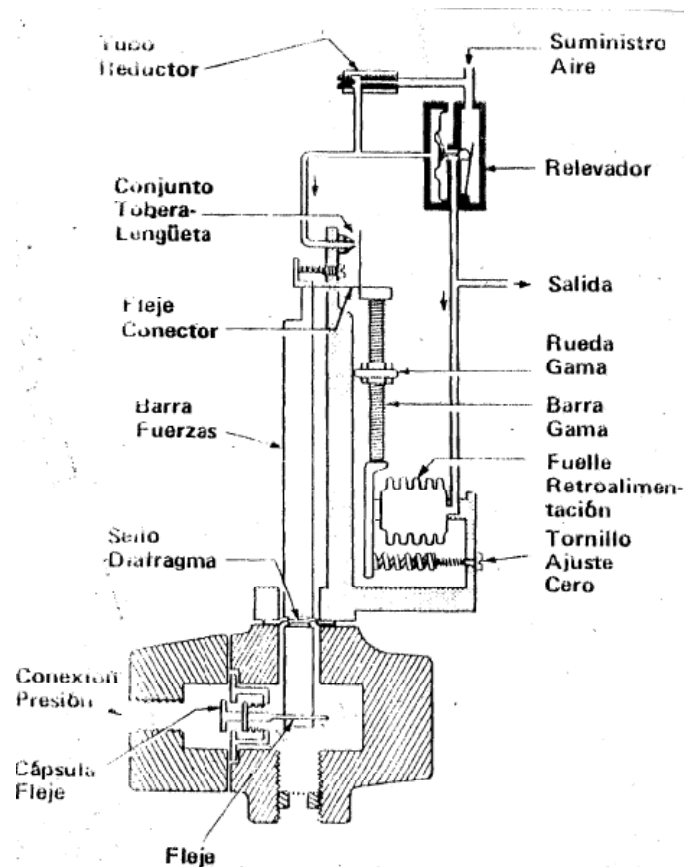


Fig. 4. Vista interna del transmisor de presión 11MG.

### 3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.

- Conocer los transmisores neumáticos y aprender a calibrarlos.
- Saber porque es necesaria su calibración.
- Conocer su utilidad en la industria.

### 4. EQUIPOS Y MATERIALES

#### a) Equipos del Laboratorio

- Transmisor de presión diferencial modelo 13.
- Transmisor de presión modelo 11MG.
- Herramientas adecuadas

#### b) Materiales que debe traer el estudiante

- Formulario para la elaboración del informe
- Bolígrafos de distintos colores para la realización de las graficas

### 5. PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN DE LOS TRANSMISORES

**Paso1:** Sitúe la rueda de gama aproximadamente a la altura de la presión o presión diferencial a la cual se quiere calibrar el transmisor.

**Paso 2:** Sin presión (diferencial) en el transmisor, o con la supresión de cero deseada, ajuste el tornillo de cero de manera que la salida del transmisor sea de 3 psig

**Paso 3:** Suministre al transmisor la presión máxima de la gama deseada, la salida debe corresponder a 15 psig, si no es así gire la rueda de gama hasta que la salida sea correcta.

**Paso 4:** Repita los pasos 2 y 3 hasta que ambas salidas correspondan.

**Experimento 1:** Calibración del Transmisor de presión diferencial

**Paso 1:** Tomar las lecturas descalibradas y realizar una grafica

**Paso 2:** Calibre el transmisor entregado para cada uno de los siguientes casos:

- a. Gama de entrada 0 a 18 cm Hg
- b. Gama de entrada 2 a 18 cm Hg

**Paso 3:** Después de cada calibración obtenga los datos necesarios para construir la gráfica gama de entrada contra gama de salida.

**Experimento 2:** Calibración del Transmisor de presión

**Paso 1:** Tomar las lecturas descalibradas y realizar una grafica

**Paso 2:** Calibre el transmisor entregado para cada uno de los siguientes casos:

- a. Gama de entrada de 0 a 90 psig
- b. Gama de entrada de 30 a 90 psig

**Paso 3:** Después de cada calibración obtenga los datos necesarios para construir la gráfica de gama de entrada contra gama de salida.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Manual de instalación, reparación y mantenimiento. FOXBORO

**PRACTICA 4**

**TRANSMISOR DE TEMPERATURA NEUMÁTICO Y ELECTRÓNICO**

**1. INTRODUCCIÓN**

Al igual que para la presión, en la industria es importante poder medir la temperatura desde distancias lejanas, para lo cual se requieren transmisores de temperatura.

Estos transmisores traducen la señal de temperatura en otra fácil de transmitir, como puede ser una señal de presión o una señal eléctrica, tal como es el caso de los dos transmisores que se estudian en la práctica: el transmisor neumático que usa una señal de 3 a 15 psig y el transmisor electrónico que usa una señal eléctrica de 4 a 20 mA.

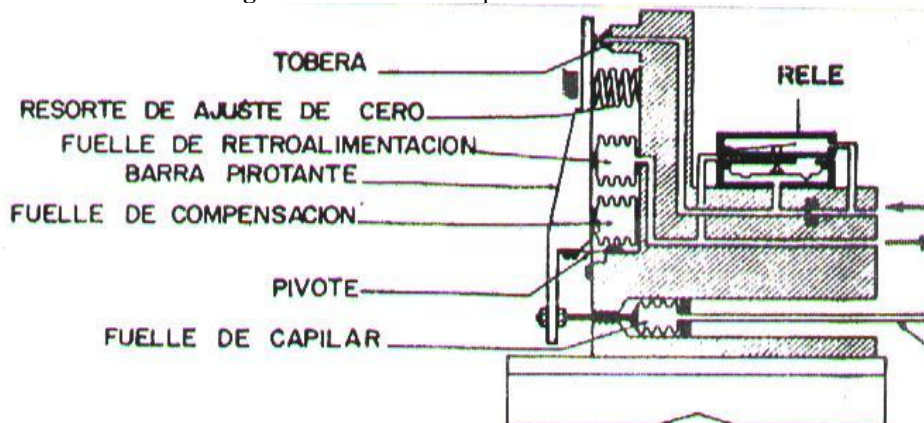
**2. FUNDAMENTOS TEORICOS**

**2.1. Transmisor neumático de temperatura modelo 12A**

El transmisor de temperatura modelo 12A es un instrumento neumático de balance de fuerzas, que mide constantemente temperaturas y transmite una señal de presión proporcional a esta entre 3 y 15 psi (20 a 100 kPa), para una amplitud de temperatura de 100 °C (rango 0 - 100°C).



**Fig 1.** Transmisor de temperatura Modelo 12A



**Fig 2.** Principio de operación del Transmisor de temperatura.

### 2.1.1 Principio de Funcionamiento

El funcionamiento de este instrumento es similar al transmisor de presión, teniendo como única diferencia el elemento sensor que, consiste en un bulbo capilar y resorte el cual convierte la temperatura a presión. El elemento sensor es un termómetro Clase III que está lleno de gas

Una vez hecha esta transformación el fuelle sensor convierte esta presión en fuerza sobre una barra pivotante, en un punto fijo, al aumentar la fuerza la palanca tapa la tobera lo cual hace aumentar la presión en el fuelle de retroalimentación, el cual ejerce una fuerza contraria y hace recuperar el equilibrio. De esta manera se obtiene una presión a la salida proporcional a la temperatura.

### 2.2. Transmisor electrónico de temperatura

Este es un elemento que transforma una señal de temperatura, en una señal eléctrica mediante un termopar, que en nuestro caso es del tipo J, para luego transformar este valor de voltaje proporcional a la temperatura en un valor de corriente que oscila entre 4 y 20 mA cc. que es mucho más fácil de transmitir a distancias lejanas y de medir con un miliamperímetro.

La utilización de corriente continua tiene como objetivo eliminar interferencias, sin usar cables especiales de conexión al medir a distancias lejanas.

La relación de 4 a 20 mA es de 1 a 5, igual que en el caso del transmisor neumático que es de 3 a 15 psi, y al usar 4 mA como valor mínimo de la escala, 0°C en nuestro caso, se elimina el peligro de una corriente residual y se puede apreciar fácilmente una avería de los cables.

## 3 OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

- Conocer los transmisores de temperatura tanto neumáticos como electrónicos.
- Señalar la utilidad y el uso que pueden tener en la industria.
- Aprender un método para la calibración de estos instrumentos y saber detectar cuando están descalibrados.

## 4. EQUIPOS Y MATERIALES

### a) Equipos del Laboratorio

- Tres envases con agua a diferentes temperaturas
- Transmisor neumático de temperatura
- Un manómetro con rango de 3 a 15 psi
- Un transmisor electrónico de temperatura
- Un miliamperímetro con rango de 4 a 20 mA
- Un termómetro de mercurio

### b) Materiales que debe traer el estudiante

- Formulario para la elaboración del informe

### 5 ESQUEMAS DE CONEXIÓN

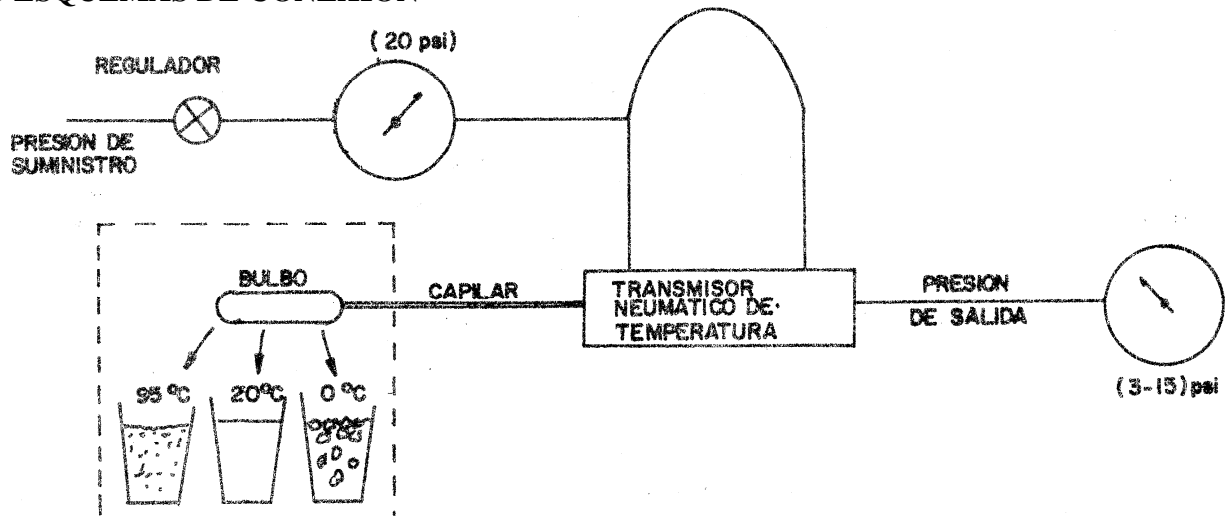


Fig 3. Esquema del transmisor neumático de temperatura.

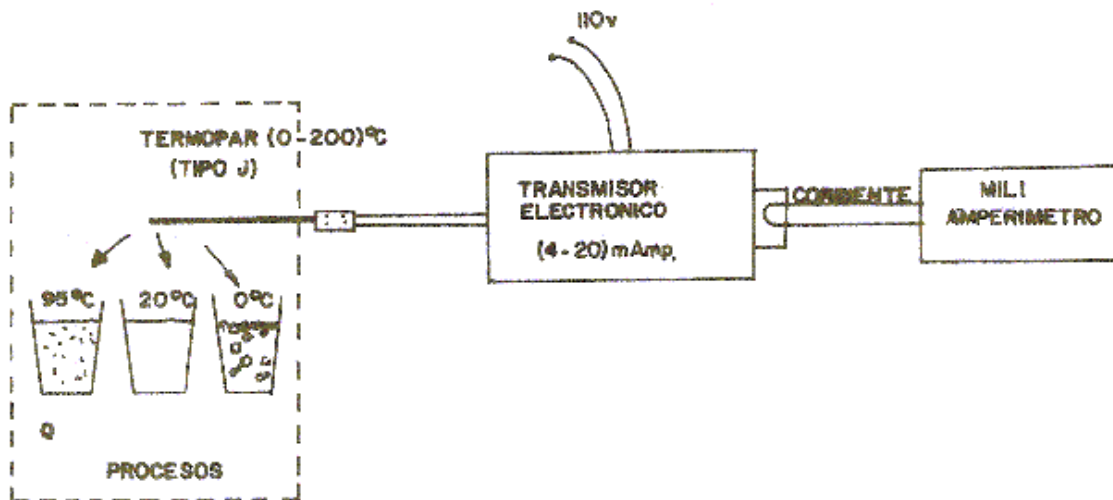


Fig 4. Esquema del transmisor electrónico de temperatura.

## 6. PROCEDIMIENTO

**Experimento1:** Calibración del Transmisor Neumático y electrónico de temperatura.

**Paso 1:** Disponer tres envases con agua a diferentes temperaturas conocidas (que se miden con un termómetro de mercurio) las cuales pueden ser:

- Agua con hielo (0°C)
- Agua a temperatura ambiente
- Agua hirviendo (95°C)

**Paso 2:** Introducir el bulbo sensor del transmisor neumático de temperatura descalibrado en cada uno de los tres envases y anotar los valores de corriente obtenidos en la Tabla 1.

**Paso 3:** Introducir el termopar del transmisor de temperatura electrónico descalibrado en cada uno de los tres envases y anotar los valores de corriente obtenidos en la Tabla 1.

**Experimento2:** Calibración del transmisor neumático

**Paso 1:** Introduzca el bulbo en agua con hielo (0°C), y gire el tornillo de ajuste de cero del diafragma hasta que la señal de salida sea 3 psi.

**Paso 2:** Introduzca el bulbo en agua hirviendo (95°C), y gire el fuelle de ajuste de amplitud hasta obtener un valor de 14,4 psi (esto ya que el rango del transmisor es de 0 a 100 °C por lo que a 100°C se debería leer 15 psi)

**Paso 3:** Repita el proceso hasta obtener lecturas correctas de 3 psi a 0°C y 15 psi a 95°C.

**Experimento 3:** Calibración del transmisor electrónico

**Paso 1:** Se introduce el termopar en agua con hielo (0°C) y se gira el tornillo de ajuste de cero hasta leer 4 mA.

**Paso 2:** Se introduce el termopar en agua hirviendo (95°C) y se gira el tornillo de ajuste de amplitud hasta que la lectura sea de 11.6 mA (esto ya que el rango del transmisor es de 0 a 200 °C por lo que a 200 °C se debería leer 20 mA).

**Paso 3:** Se repite el procedimiento hasta obtener lecturas de 4 mA a 0°C y 11.6 mA a 95°C.

**Paso 4:** Tomar lecturas para las diferentes temperaturas con el transmisor neumático ya calibrado y anote los resultados en la Tabla 2.

**Paso 5:** Tome lecturas para las diferentes temperaturas con el transmisor electrónico calibrado y anótelos en la Tabla 3.



**7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

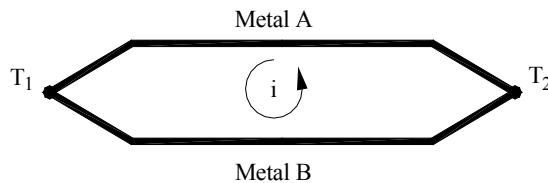
- Manual de instalación y mantenimiento.  
Transmisor neumático de temperatura. FOXBORO.
- Instrumentación Industrial. A. Creus

**PRACTICA 5****ESTUDIO PRÁCTICO DE TERMOPARES****1. INTRODUCCIÓN**

La técnica que se encarga del estudio de la medición de temperatura por medio de termopares se llama termoelectricidad. En esta practica se van ha estudiar las distintas leyes que rigen el funcionamiento de los termopares.

**2 FUNDAMENTOS TEORICOS**

**2.1. Efecto Seebeck:** En 1826 Thomas Johan Seebeck (1770-1831) descubrió que podía producirse una fuerza electromotriz (fem), por un procedimiento puramente térmico, en un circuito compuesto por dos metales distintos A y B cuyas soldaduras se mantienen a temperaturas diferentes, como se representa esquemáticamente en la figura 1, a este descubrimiento se le conoce como Efecto Seebeck.



**Fig. 1.** Termopares de dos metales A y B con soldaduras a T y  $T_r$ .

El conjunto de los dos metales constituye un termopar o par termoelectrónico, y la fem del circuito se denomina fem térmica o fem Seebeck.

Si se mantiene constante la temperatura ( $T_r$ ) de la junta de referencia, se encuentra que la fem Seebeck es función de la temperatura (T) de la junta de prueba. Este hecho permite utilizar el termopar como termómetro, lo que constituye actualmente su principal aplicación. Una ventaja de usar un termopar como termómetro es que a causa de su pequeña capacidad calorífica, la junta de prueba alcanza rápidamente el equilibrio térmico con el sistema cuya temperatura se desea medir, y por consiguiente, sigue fácilmente los cambios de temperatura; y la otra ventaja es la linealidad, ya que la fem varía proporcionalmente a los cambios de temperatura en la junta de prueba.

**2.2. Efecto Peltier:** Es la transmisión de calor que se establece entre la junta del termopar y el medio que la rodea al circular por ella una corriente eléctrica.

La experiencia ha demostrado que el Efecto Peltier producido en cualquier junta (soldadura) es proporcional a la cantidad de electricidad que la atraviesa, y se invierte el sentido del flujo calorífico cuando se invierte también el sentido de la corriente eléctrica.

**2.3. Efecto Thomson:** Cuando se mantiene una corriente en un cable de temperatura no uniforme, se libera o se absorbe en todos los puntos del alambre, y este calor absorbido o cedido es proporcional a la cantidad de electricidad que atraviesa una porción del alambre y a la diferencia de temperatura entre los extremos de esa porción.

**2.4. Ley de los Circuitos Homogéneos:** No se puede mantener una corriente eléctrica en un circuito de un solo metal homogéneo, por el solo hecho de aplicarle calor; a menos que su sección no sea

constante.

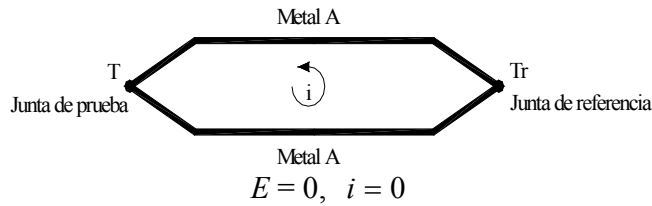


Fig. 2. Esquema de un termopar de un solo metal homogéneo.

**2.5. Ley de los Metales Intermedios:** La suma algebraica de las fem en un circuito compuesto por cierto número de metales homogéneos desiguales es cero si todo el circuito está a la misma temperatura.

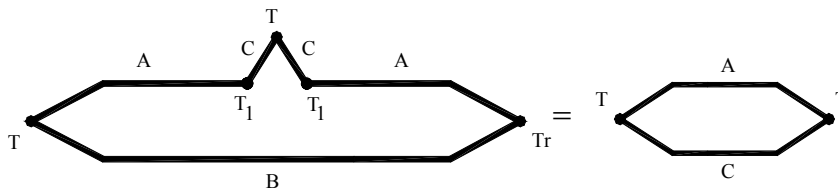


Fig. 3. Esquema de un circuito de termopares cuyas uniones a la misma temperatura

Haciendo uso de las leyes de los circuitos homogéneos y de los metales intermedios es posible incluir en el circuito del termopar o termopares, un instrumento de medición con sus respectivos conductores.

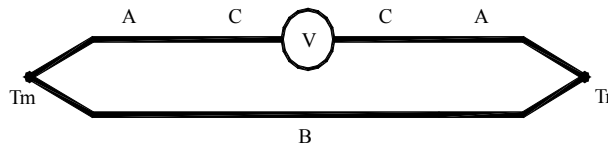


Fig. 4. Esquema de un circuito de termopares donde se ha incluido un instrumento de medición.

**2.6. Ley de las Temperaturas Intermedias:** La fem térmica desarrollada por un termopar de metales homogéneos con sus uniones a temperaturas  $T_1$  y  $T_3$  es igual a la suma algebraica de las fem desarrolladas por el mismo termopar, primero con sus uniones a  $T_1$  y  $T_2$ , y después con sus uniones a  $T_2$  y  $T_3$ ; si  $T_1 < T_2 < T_3$ .

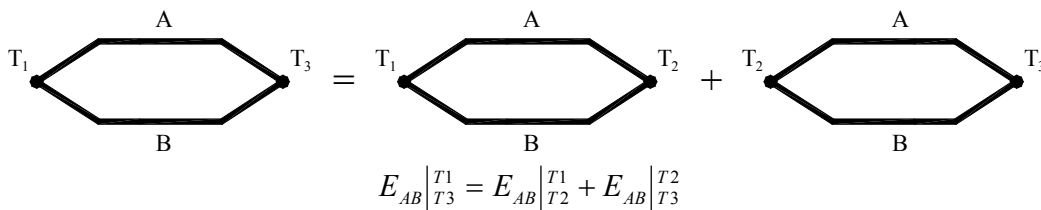


Fig. 5. Esquema de un termopar que cumple con la ley de las temperaturas intermedias.

**2.7. Termopares Estandarizados.**

Termopar	Metal (+)	Metal (-)	Rango °C	Exactitud Promedio
(T) Cobre-Constantán	100% Cu	55% Cu + 45% Ni	-270 a 400	+ 0.75 %
(J) Hierro-Constantán	100% Fe	55% Cu + 45% Ni	-210 a 1200	+ 1.00 %
(K) Cromel-Alúmel	90% Ni + 10% Cr	95% Ni + 5% Al	-270 a 1370	+ 0.75 %
(R) Platino + 13% Rodio-Platino	87% Pt + 13% Rh	100% Pt	-50 a 1760	+ 0.50 %
(S) Platino + 10% Rodio-Platino	90% Pt + 10% Rh	100% Pt	-50 a 1760	+ 0.50 %

**2.8. Código de colores para termopares.**

Termopar	Junta de Medición o Cabezal	Cubierta Externa	Cables	
			Cubierta Positiva	Cubierta Negativa
(T) Cobre-Constantán	Azul	Azul	Azul	Rojo
(J) Hierro-Constantán	Negro	Negro	Blanco	Rojo
(K) Cromel-Alúmel	Amarillo	Blanco	Verde	Rojo
(R) Platino + 13% Rodio-Platino	Verde	Verde	Negro	Rojo

**3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.**

- Comprobar que un termopar cuyas juntas están a temperaturas diferentes produce una fuerza electromotriz (fem).
- Aprender a utilizar los termopares como termómetros.
- Comprobar las tres leyes de los termopares mencionadas en la introducción.

**4. EQUIPOS Y MATERIALES**

**a) Equipos del Laboratorio**

- Cable de termopar tipo J, K, T.
- Cabezales de termopar tipo J, K, T.
- Dos estufas eléctricas (110 V) y dos recipientes con agua.
- Un medidor de fem digital.
- Un termómetro con rango de 0 a 100°C.

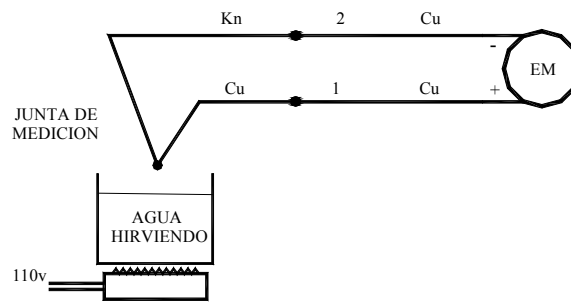
**b) Materiales que debe traer el estudiante**

- Formulario para la elaboración del informe

**5. PROCEDIMIENTO**

**Experimento 1: Comprobación de la Ley de los Circuitos Homogéneos.**

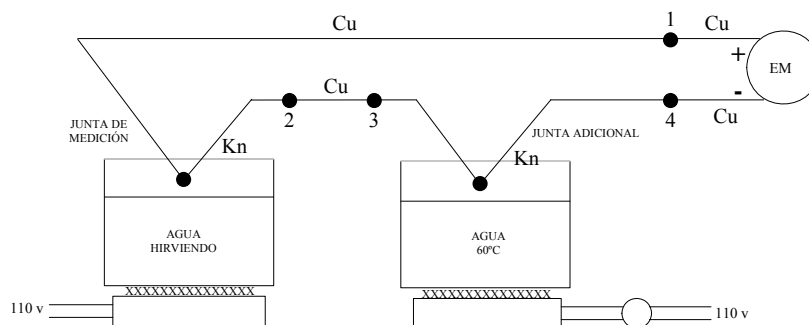
**Paso 1:** Monte el siguiente arreglo con un termopar tipo T.



**Paso 2:** Introduzca la junta de medición en agua hirviendo. Mida y anote la fem con el potenciómetro digital así como también la temperatura ambiente a la que se encuentra la junta adicional

**Paso 3:** Mida y anote la temperatura del agua hirviendo.

**Paso 4:** Introduzca la junta adicional del termopar tipo T identificado con las clavijas 3 y 4 en el recipiente con agua a 60°C estando la junta de medición en el recipiente con agua hirviendo (95°C). Siga la siguiente figura. Mida y anote la fem generada en estas condiciones.

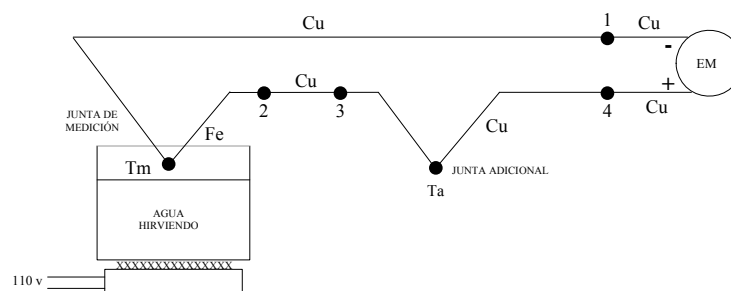


**Paso 5:** Haga sus observaciones sobre el experimento. ¿Se cumple o no la Ley de los Circuitos Homogéneos?. ¿Coinciden las fem medidas en el laboratorio con las fem de las tablas de termopares anexas?.

**Paso 6:** Repita el procedimiento con los termopares J y K.

### Experimento 2: Comprobación de la Ley de Metales Intermediarios.

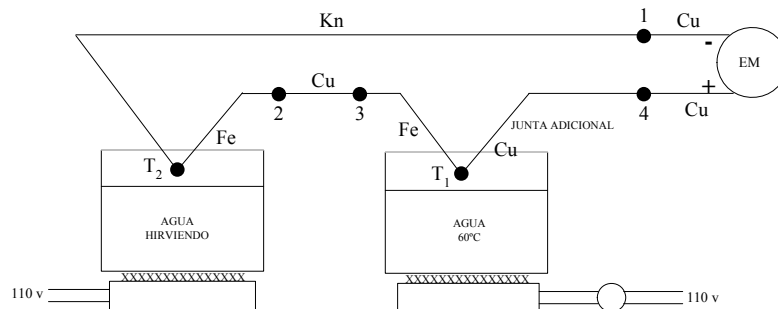
**Paso 1:** Monte el siguiente arreglo con los termopares tipo J y T.



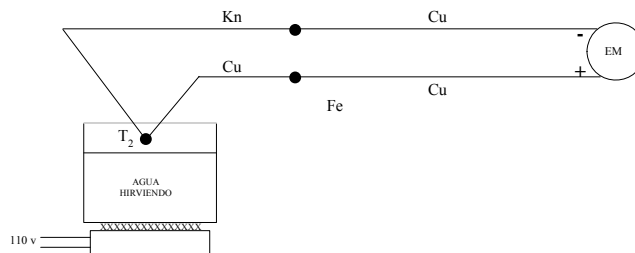
**Paso 2:** Mida y anote la temperatura del ambiente, la del agua hirviendo y la del otro recipiente.

**Paso 3:** Introduzca la junta de medición en agua hirviendo, manteniendo la junta adicional a temperatura ambiente, mida y anote la fem generada.

**Paso 4:** Mantenga la junta de medición en el agua hirviendo e introduzca la junta adicional en el recipiente con agua a 60 °C, mida y anote la fem generada.



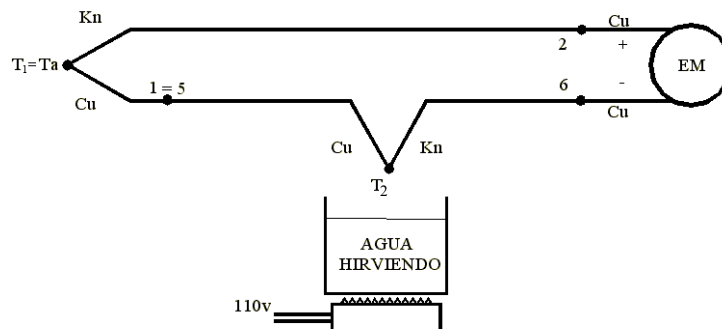
**Paso 5:** Prepare otro termopar tipo T (Cu – Kn), mida y anote la fem generada por él, cuando su punta de medición se introduce en el agua hirviendo.

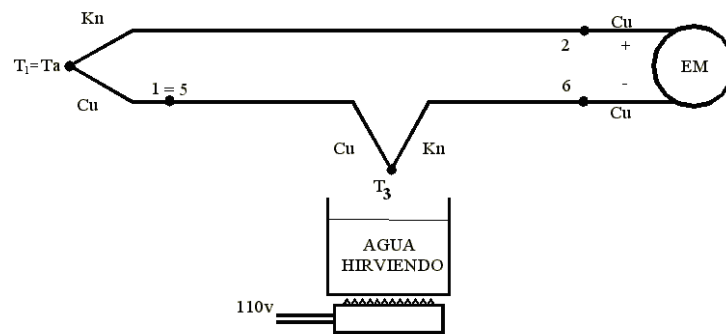


**Paso 6:** Haga sus observaciones sobre el experimento. ¿Se cumple o no la Ley de los Circuitos Homogéneos?. ¿Coinciden las fem medidas en el laboratorio con las fem de las tablas de termopares anexas?.

### Experimento 3: Comprobación de la Ley de las Temperaturas Intermedias

**Paso 1:** Monte el siguiente arreglo con un termopar tipo T.



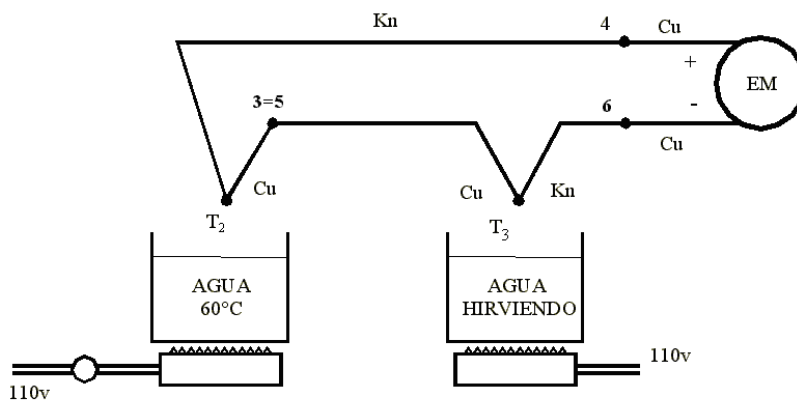


**Paso 2:** Mida y anote la temperatura ambiente, la del agua hirviendo y la del otro recipiente.

**Paso 3:** Deje que  $T_1$  sea la temperatura ambiente ( $T_a$ ) e introduzca  $T_2$  en el agua hirviendo.

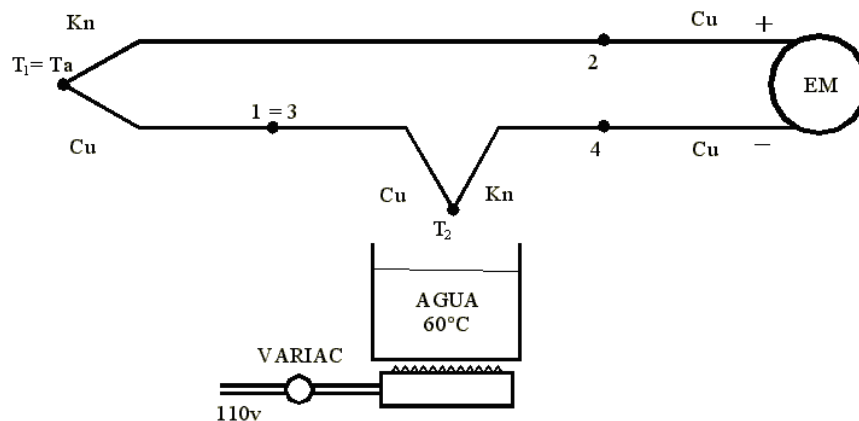
**Paso 4:** Mida y anote la fem generada por el termopar.

**Paso 5:** Introduzca ahora  $T_1$  en el recipiente que está a  $60^\circ\text{C}$  y deje  $T_2$  en el agua hirviendo.



**Paso 6:** Mida y anote la fem generada por el termopar.

**Paso 7:** Introduzca  $T_2$  en el recipiente que está a  $60^\circ\text{C}$  y deje que  $T_1$  sea la temperatura ambiente ( $T_a$ ).



**Paso 8:** Mida y anote la fem generada por el termopar.

**Paso 9:** Compruebe que:

$$E_{Cu-Kn} \left| \frac{T_3}{T_1} \right| = E_{Cu-Kn} \left| \frac{T_2}{T_1} \right| + E_{Cu-Kn} \left| \frac{T_3}{T_2} \right|$$

**Paso 10:** Repita todos los pasos anteriores con los termopares J y K.

**Paso 11:** Haga sus observaciones sobre el experimento. ¿Se cumple o no la Ley de los Circuitos Homogéneos?. ¿Coinciden las fem medidas en el laboratorio con las fem de las tablas de termopares anexas?.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Física general: Searz y Zemansky.
- Apuntes de Instrumentación: Prof. Benito Baron.
- Process Instruments and Controls Handbook: Douglas M. Considine.
- Métodos Experimentales para Ingenieros: J. P. Holman.
- Instrumentación Industrial: Antonio Creus.



**PRACTICA 6**

**TERMOPARES EN SERIE Y EN PARALELO.**

**1. INTRODUCCIÓN.**

Algunas veces se hace necesario utilizar arreglos de termopares en serie y/o en paralelo, ya que esto permite hacer mediciones más precisas promediando valores, para aumentar la *f.e.m* a medir o para utilizar temperaturas de referencia específicas producidas artificialmente.

En esta práctica vamos a estudiar como funcionan estos arreglos y en que se utiliza cada uno.

**2. FUNDAMENTOS TEORICOS**

**2.1. Termopares en Paralelo.**

Un arreglo típico de termopares en paralelo se puede observar en la Fig. 1, donde se tienen cuatro termopares de hierro-constantán conectados de manera que los cuatro cables de hierro se unen a la toma positiva del voltímetro y lo cuatro de constantán se unen a la toma negativa del mismo, quedando las cuatro juntas de prueba para medir temperaturas.

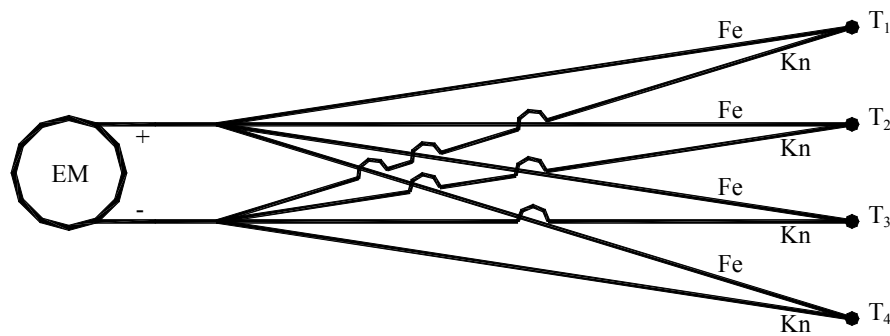


Fig. 1. Arreglo de termopares en paralelo.

El circuito de la figura 1 es equivalente al circuito de cuatro baterías con sus respectivas fem y cuatro resistencias conectadas en paralelo, como se puede observar en la Fig.2.

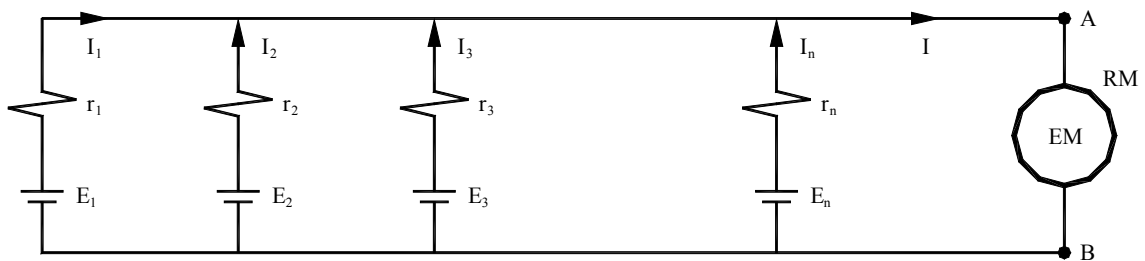


Fig. 2. Circuito eléctrico equivalente para termopares en paralelo.

En este caso la diferencia de potencial a través del voltímetro (M) es:

$$E_M = I \cdot R_M \quad (1)$$

La diferencia de potencial entre los puntos A y B será:

$$E_{tc} = E_1 - I_1 \cdot r_1 = E_2 - I_2 \cdot r_2 = \dots = E_n - I_n \cdot r_n = I(R_L + R_M) \quad (2)$$

siendo  $R_L$ : Resistencia de los cables de conexión.

Despejando  $I_1, I_2, \dots, I_n$  de (2) tenemos que:

$$I_1 = \frac{E_1 - I(R_L + R_M)}{r_1} \quad ; \quad I_2 = \frac{E_2 - I(R_L + R_M)}{r_2} \quad \dots \quad I_n = \frac{E_n - I(R_L + R_M)}{r_n} \quad (3)$$

Sabemos que en un circuito en paralelo:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (4)$$

Sustituyendo la ecuación (3) en (4):

$$I = \frac{E_1 - I(R_L + R_M)}{r_1} + \frac{E_2 - I(R_L + R_M)}{r_2} + \dots + \frac{E_n - I(R_L + R_M)}{r_n} \quad (5)$$

Agrupando términos en la ecuación (5) resulta:

$$I = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \dots + \frac{E_n}{r_n} - I(R_L + R_M) \cdot \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n} \right) \quad (6)$$

Despejando  $I$  de (6) y sustituyéndola en (1) tenemos:

$$\frac{E_M}{R_M} = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \dots + \frac{E_n}{r_n} - \frac{E_M}{R_M} (R_L + R_M) \cdot \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n} \right) \quad (7)$$

Despejando  $E_M$  de la ecuación (7) tenemos que:

$$E_M = \left( \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \dots + \frac{E_n}{r_n} \right) \frac{R_M}{1 + (R_L + R_M) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n} \right)} \quad (8)$$

Si todas las resistencias de los termopares son iguales tenemos:

$$r_1 = r_2 = \dots = r_n = r$$

$$E_M = \left( \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{r} \right) \frac{R_M}{\left( 1 + \frac{(R_L + R_M) \cdot n}{r} \right)} \quad (9)$$

Si se multiplica y divide (9) por  $\left( \frac{r}{n} \right)$  entonces:

$$E_M = \left( \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n} \right) \frac{R_M}{\left( \frac{r}{n} + R_L + R_M \right)} \quad (10)$$

Si los termopares se conectan directamente al multímetro entonces  $R_L = 0$ ; y se divide la expresión (10) por  $R_M$ :

$$E_M = \left( \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n} \right) \frac{1}{\left( \frac{r}{n \cdot R_M} + 1 \right)} \quad (11)$$

Como  $R_M \gg r \Rightarrow \frac{r}{n \cdot R_M} \approx 0$  por lo tanto:

$$E_M = \left( \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n} \right) \quad (12)$$

Luego: En un circuito de termopares en paralelo con varios valores de temperatura a medir ( $T_M$ ) se cumplirá la ecuación (12) cuando:

- a) Todos los termopares tengan la misma resistencia.
- b) Todos los termopares se conectan directamente a los terminales del medidor de fem.

## 2.2. Termopares en Serie.

Un arreglo típico de termopares en serie se muestra en la figura 3, donde se pueden observar tres termopares de Crómél-Alúmel conectados en serie. El arreglo se hace de manera que los cables de Crómél (+) se conecten con los de Alúmel (-) alternativamente dejando un cable de Crómél (+) para conectarlo a la toma positiva del voltímetro y un cable de Alúmel (-) para conectarlo a la toma negativa.

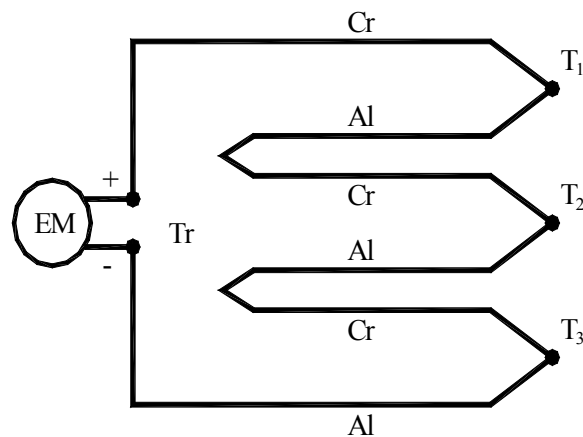


Fig. 3. Arreglo de termopares en serie.

La fem medida por el multímetro es igual a la suma de las fem generadas por cada termopar.

$$E_M = E_1 + E_2 + \dots + E_N$$

Con cada arreglo de termopares del mismo tipo conectados en serie se puede obtener la temperatura promedio de un cuerpo si se divide  $E_M$  entre el número de termopares utilizados.

### 3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.

- Realizar un estudio teórico práctico sobre los termopares conectados en serie o en paralelo.
- Comprobar que en un circuito de termopares en paralelo, la fuerza electromotriz generada es igual al promedio de las fem generadas por cada termopar.
- Comprobar que en un circuito de termopares en serie, la fuerza electromotriz generada es igual a la suma de las fem generadas por cada termopar.
- Calibrar un termopar desconocido a partir de un termopar tipo R.

### 4. EQUIPOS Y MATERIALES

#### a) Equipos del Laboratorio

- Cables de termopares Cr-Al; Fe-Kn y Cu-Kn, Pt-Pt/Rh
- Tres estufas eléctricas.
- Tres recipientes, uno con aceite y dos con agua para producir  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ .
- Un medidor de fem digital.
- Un termómetro apropiado para medir  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ .
- Cabezal de termopar tipo R y cables de conexión.
- Un recipiente de agua con hielo.

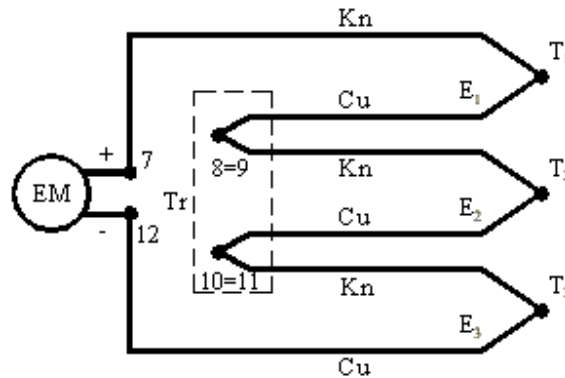
#### b) Materiales que debe traer el estudiante

- Formulario para la elaboración del informe

**5. PROCEDIMIENTO**

**EXPERIMENTO 1: Termopares en Serie**

**Paso 1:** Monte el siguiente arreglo con termopares tipo T.



**Paso 2:** Mida y anote las temperaturas del ambiente ( $T_r$ ), del aceite ( $T_1$ ), del agua hirviendo ( $T_2$ ) y la del otro recipiente con agua ( $T_3$ ).

**Paso 3:** Introduzca las tres juntas de medición en sus respectivos recipientes. Mida y anote las fem generadas.

**Paso 4:** Conecte cada termopar con el milivoltímetro digital (uno solo cada vez), estando cada uno a su respectiva temperatura, mida y anote la fem generada por cada uno ( $E_1$ ), ( $E_2$ ) y ( $E_3$ ).

**Paso 5:** Introduzca las tres juntas de medición en recipiente con agua hirviendo ( $T_2$ ). Mida y anote la fem generada ( $E_M$ ).

**Paso 6:** Conecte cada termopar con el milivoltímetro digital (uno solo cada vez), mida y anote la fem generada por cada uno ( $E_1$ ), ( $E_2$ ) y ( $E_3$ ).

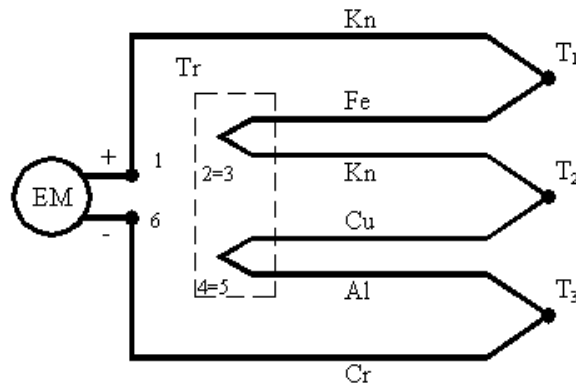
**Paso 7:** Compruebe que para el Paso 3:  $E_M \approx E_1 + E_2 + E_3$

**Paso 8:** Compruebe para el Paso 6 que

$$E_M \approx 3 \cdot E_2$$

**Paso 9:** Repita los pasos 2 hasta el 8 para el termopar tipo K

**Paso 10:** Haga ahora el siguiente arreglo de termopares.



**Paso 11:** Repita los pasos 2. al 8.

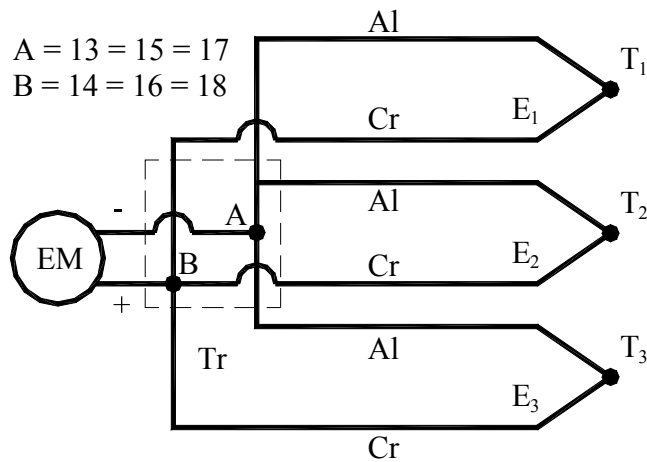
**Paso 12:** Mida y anote las fem generadas por los termopares Fe-Kn y Cr-Al cuando se introducen por separado en el recipiente a  $T_2$  ( $E_1$ ) y ( $E_2$ ).

**Paso 13:** Compruebe que para el paso 11. correspondiente al arreglo del paso 10., se cumple que:

$$E_M \approx E_1 + E_2 + E_3$$

**EXPERIMENTO 2:** Termopares en Paralelo.

**Paso 1:** Monte el siguiente arreglo de termopares.



**Paso 2:** Mida y anote las temperaturas del ambiente ( $T_r$ ), del aceite ( $T_1$ ), del agua hirviendo ( $T_2$ ) y la del otro recipiente con agua ( $T_3$ ).

**Paso 3:** Introduzca las tres juntas de medición en sus respectivos recipientes. Mida y anote las fem generadas.

**Paso 3:** Introduzca las tres juntas de medición en recipiente con agua hirviendo. Mida y anote la fem generada ( $E_M$ ).

**Paso 4:** Con cada uno de los termopares por separado mida y anote la fem generada cuando esta en

su respectivo recipiente ( $E_1$ ), ( $E_2$ ) y ( $E_3$ ).

**Paso 5:** Compruebe para el paso 3 que:

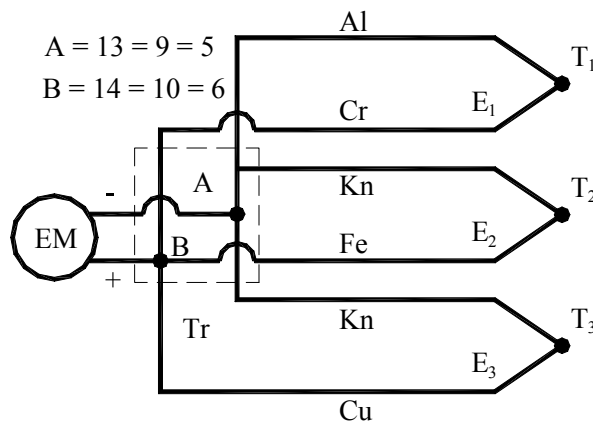
$$E_M = \frac{(E_1 + E_2 + E_3)}{3}$$

**Paso 6:** Compruebe para el paso 4 que:

$$E_M = \frac{3 \cdot E_2}{3} = E_2$$

**Paso 7:** Repita los pasos 2 hasta 7 para el termopar tipo T

**Paso 8:** Monte ahora el siguiente arreglo de termopares.



**Paso 9:** Repita los pasos 2 al 7

**Paso 10:** Mida y anote las fem generadas por los termopares Cr-Al y Cu-Kn cuando se introducen por separado en el recipiente a  $T_2$  ( $E_1$ ) y ( $E_3$ ).

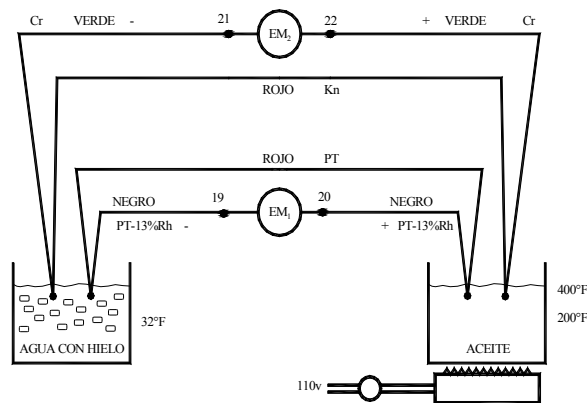
**Paso 11:** Compruebe que para el paso 4 correspondiente al arreglo 9, se cumple que:

$$E_M = \frac{(E_1 + E_2 + E_3)}{3}$$

### EXPERIMENTO 3: Calibración de un termopar.

#### Material necesario para el experimento 3

**Paso 1:** Monte el siguiente arreglo de termopares.



**Paso 2:** Esperar hasta que  $E_{M1}$  indique 1.504 mV, para este momento anotar el valor indicado por  $E_{M2}$ .

**Paso 3:** Para reducir el voltaje  $E_{M1}$ , apague la hornilla y cuando alcance los valores conocidos como 1.454, 1.405 se anota el valor que indica  $E_{M2}$  para esos momentos y se va llenando la tabla anexa.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Process Instruments and Controls Handbook.  
Douglas M. Considine.
- Métodos Experimentales para Ingenieros.  
J. P. Colman



**PRÁCTICA 7**

**CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE FLUJO.**

**1. INTRODUCCIÓN.**

En la mayor parte de los procesos industriales existen operaciones con flujos de líquidos o gases, por lo cuál es necesario el uso de medidores de flujo cuando se requiere ajustar o conocer el valor de éste.

Existen varios métodos para medir flujos entre los cuáles están:

- Los de presión diferencial:
  - Tubo Vénturi.
  - Tobera de Flujo
  - Placa Orificio.
- Los de área variable: Rotámetro.
- Magnéticos.
- De turbina.
- Otros que no se estudian en esta práctica.

El método más preciso para la medición de flujos de líquido es el aforo volumétrico, el cual consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un volumen conocido. Como éste método es bastante tedioso de practicar, y en algunos casos imposible, este se usa solo para calibrar otros medidores más prácticos tal como es el caso que se presenta en esta práctica (PRÁCTICA 7)

**2. FUNDAMENTOS TEORICOS**

**2.1. TUBO VÉNTURI**

Es un instrumento que sirve para medir el caudal de un fluido mediante la caída de presión que se produce al cambiar el área de sección transversal de un conducto. Esta caída de presión se mide con un manómetro según la disposición que muestra la Fig. 1.

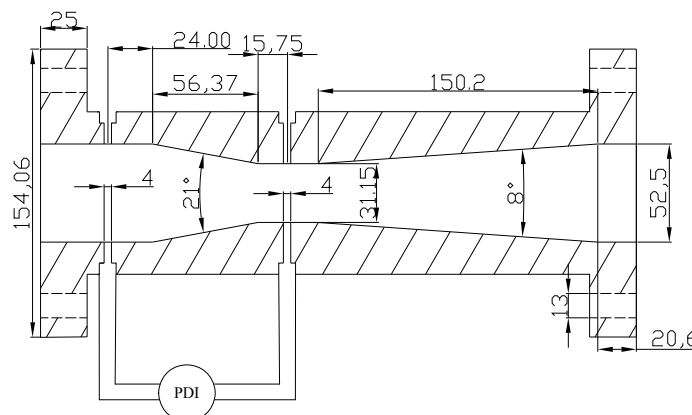


Fig. 1. Tubo Vénturi (dimensiones en milímetros)

El valor teórico del caudal se va a calcular con base en los procedimientos indicados por la norma ISO-5167-1, ya que esta organización es la de mayor importancia en cuanto a normalización a nivel mundial. Esta norma se refiere a la medición de flujo con instrumentos de reducción de área, para tuberías circulares con la sección totalmente llena de fluido.

Según esta norma, el flujo másico en un Tubo Vénturi (una Tobera de Flujo o una Placa de Orificio) por el cual fluye cualquier fluido, se determina mediante la siguiente expresión:

$$q_m = \frac{C\varepsilon}{\sqrt{(1-\beta^4)}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$$

Donde:

- $C$ : es el coeficiente de descarga que depende del elemento primario (Vénturi, tobera de flujo o placa orificio) y de las condiciones del flujo, que se determina experimentalmente.
- $\varepsilon$ : es el coeficiente de expansión, que toma en cuenta la compresibilidad del fluido.

El cálculo del flujo volumétrico se realiza con la expresión:

$$q_v = \frac{q_m}{\rho}$$

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido en las condiciones en que se realiza la medición. Adicionalmente, por lo general se requiere del número de Reynolds, que se obtiene con la expresión:

$$\text{Re}(D) = \frac{V_1 D}{\nu_1} = \frac{4q_m}{\pi \mu_1 D} \quad \text{Referido al flujo en la tubería}$$
$$\text{Re}(d) = \frac{\text{Re}(D)}{\beta} \quad \text{Referido al flujo en la contracción}$$

Para el cálculo del flujo se deberá utilizar el procedimiento iterativo especificado por la norma ISO-5167 el cual aparece resumido a continuación.

### Resumen Norma ISO-5167

Esta norma se refiere a la medición de flujo con instrumentos de reducción de área, para tuberías circulares con la sección totalmente llena de fluido. Según esta norma el flujo másico de cualquier fluido se determina mediante la siguiente expresión:

$$q_m = \frac{C\varepsilon}{\sqrt{(1-\beta^4)}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$$

Donde:

- $C$ : es el coeficiente de descarga que depende del elemento primario (Vénturi, tobera o placa orificio) y de las condiciones del flujo, que se determina experimentalmente.
- $\varepsilon$ : es el coeficiente de expansión, que toma en cuenta la compresibilidad del fluido.

El cálculo del flujo volumétrico se realiza con la expresión:

$$q_v = \frac{q_m}{\rho}$$

Donde:

$\rho$  : Es la densidad del fluido en las condiciones en que se realiza la medición.

Adicionalmente por lo general se requiere del número de Reynolds, que se obtiene con la expresión:

$$\text{Re}(D) = \frac{V_1 D}{\nu_1} = \frac{4q_m}{\pi \mu_1 D} \quad \text{Referido al flujo en la tubería.}$$

$$\text{Re}(d) = \frac{\text{Re}(D)}{\beta} \quad \text{Referido al flujo en la contracción}$$

Debido a que la determinación del flujo mediante la expresión anterior está sujeta a diversas mediciones, tales como tamaño, presión, y la determinación de coeficientes experimentales, esta presenta ciertas incertidumbres, pudiéndose calcular la incertidumbre global con la expresión siguiente:

$$\frac{\delta q_m}{q_m} = \sqrt{\left(\frac{\delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{2\beta^4}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{\delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \Delta p}{\Delta p}\right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \rho_1}{\rho_1}\right)^2}$$

Dicha expresión relacional, indica en forma adimensional la estimación del error que se puede producir en la medición en las condiciones de realización de la medida o experimento.

Debido a que en la mayoría de los casos el coeficiente de descarga y el coeficiente de expansión dependen del flujo a través del número de Reynolds, se requiere por lo general un proceso iterativo para el cálculo de las incógnitas en cada problema. Existen básicamente cuatro problemas tipo a resolver en la medición de flujo con estos instrumentos:

- El cálculo directo del caudal  $q_m$  ó  $q_v$  para un instrumento ya instalado.
- El cálculo del diámetro de la contracción  $d$ , cuando se requiere diseñar un instrumento a ser instalado.
- El cálculo de la diferencia de presión  $\Delta P$  para la selección del medidor de presión diferencial a instalar.
- El cálculo del diámetro de la tubería  $D$  cuando se quiere saber en que tubería se puede instalar un instrumento existente.

En esta practica solo vamos a mostrar el procedimiento para el calculo del caudal que es el caso que nos interesa. A continuación se muestra el procedimiento

### **Cálculo del caudal que atraviesa una tubería (Norma ISO 5167-1)**

Este algoritmo se utiliza para determinar el caudal,  $q_v$  y el caudal másico,  $q_m$ , que atraviesa una tubería mediante un dispositivo primario de presión diferencial. Es importante a la hora de realizar los cálculos, contar con los datos de las siguientes variables:

**Datos necesarias para realizar el cálculo (líquido, Gas o vapor)**

<b>Variabes</b>	<b>Símbolo y Unidades</b>
Viscosidad dinámica del fluido	$\mu$ (pa × s)
Densidad del fluido	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )
Diámetro interno de la tubería	$D$ (m)
Diámetro de diseño del orificio	$d$ (m)
Presión diferencial medida	$\Delta p$ (pa)
Relación de diámetros	$\beta = \frac{d}{D}$

**Algoritmo para el cálculo  $q_m$ :**

1) Cálculo de la constante  $A_1$ :

- Para líquidos, asumir  $\varepsilon = 1$ .
  - Para gas o vapor, calcular  $\varepsilon$  a partir de la ecuación del dispositivo primario que se este empleando de acuerdo a la norma:
  -
- ISO5167-2 (Ec.1b)  
 ISO5167-3 (Ec.2e)  
 ISO5167-4 (Ec.3d)

$$A_1 = \frac{\varepsilon d^2 \sqrt{2\Delta p \rho}}{\mu D \sqrt{1 - \beta^4}} \quad (1)$$

2) Calcular  $R_e(D)$

Asumir  $R_e(D) = \infty$ , para hallar  $C_\infty$  inicial según el dispositivo primario que se esté empleando de acuerdo a la norma:

- ISO5167-2 (Ec.1a)  
 ISO5167-3 (Ec.2a, 2b, 2c, 2d)  
 ISO5167-4 (Ec.3a, 3b, 3c)

3) Calcular  $X_1$ :

$$X_1 = R_e(D) = CA_1 \quad (2)$$

4) Calcular  $C$ : Utilizando la ecuación del dispositivo primario que sé este empleando de acuerdo a la norma:

- ISO5167-2 (Ec.1a)  
 ISO5167-3 (Ec.2a, 2b, 2c, 2d)  
 ISO5167-4 (Ec.3a, 3b, 3c)

5) Calcular el criterio de precisión: donde el valor  $n$  depende de la precisión requerida:

$$\left| \frac{A_1 - \frac{X_1}{C}}{A_1} \right| < 1 \times 10^{-n} \quad (3)$$

6) Si el criterio no se cumple: se repite el paso 3 y se realiza el procedimiento correspondiente hasta que se cumpla el mismo, para luego calcular:

$$q_m = \frac{\pi}{4} \mu D X_1 \quad y \quad q_v = \frac{q_m}{\rho} \quad (4)$$

## 2.2. TOBERA DE FLUJO

Este instrumento de forma semejante al tubo Vénturi sirve para medir el caudal de un fluido utilizando la caída de presión que se produce al estrangular el fluido mediante una tobera.

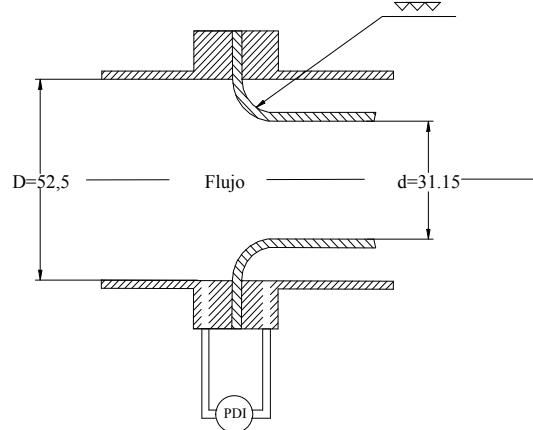


Fig. 2. Tobera de flujo

Al igual que en el Vénturi esta caída de presión se mide con un manómetro, según la disposición de la Fig. 2. El valor teórico de caudal se puede calcular usando la misma expresión utilizada para el tubo Vénturi solo que en este caso se hará uso de la norma ISO-5167-3 que es la que está referida específicamente a las toberas de flujo.

## 2.3. PLACA ORIFICIO O DIAFRAGMA

Este instrumento utiliza el mismo principio que la tobera de flujo para obtener el caudal de un fluido, con la única diferencia que su construcción es más sencilla y que produce pérdidas de cargas mayores al fluido por ser más brusco el estrangulamiento del fluido.

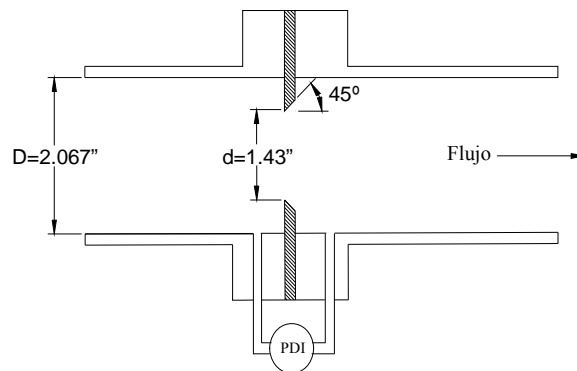


Fig. 3. Placa orificio

En el laboratorio este instrumento está montado según la disposición de la Fig. 3.

Al igual que en el Vénturi esta caída de presión se mide con un manómetro, según la disposición de la Fig. 2. El valor teórico de caudal se puede calcular usando la misma expresión utilizada para el tubo Vénturi solo que en este caso se hará uso de la norma ISO-5167-2 que es la que esta referida a las placas de orificio.

## 2.4. ROTÁMETRO

Son medidores de área variable en los cuáles un flotador cambia de posición dentro de un tubo cónico, proporcionalmente al flujo de fluido.

Los más comunes son los de tubo vertical donde el flotador es forzado hacia abajo por su propio peso, también existen horizontales donde al flotador se le aplica la fuerza con un resorte. En el laboratorio se utiliza uno de tubo vertical, y en este caso el cálculo teórico del caudal se puede hacer mediante la siguiente ecuación:

$$Q = C_d A_w \sqrt{2gV_f \left( \frac{P_{mf} - P_{m1}}{P_{m2} - A_f} \right)}$$

Donde:

$C_d$ : Coeficiente de descarga ( $C_d = 1$ ).

$A_w$ : Sección interior del tubo en la posición donde se encuentra el flotador.

$$A_w = A_r - A_f = \frac{\pi}{4} (2 * tg\alpha + D_f)^2 - A_f$$

$x$ : Posición del flotador.

$D_f$ : Diámetro del flotador = 0,025 m.

$A_f$ : Área del flotador =  $4,9087 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ .

Dint. Salida = 28 mm.

Dint. Entrada = 19 mm.

Longitud = 280 mm.

$\alpha$ : Ángulo de entrada = 1,15°.

$V_f$ : Volumen del flotador =  $2,9956 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ .

$P_{m1}$ : Peso específico del flotador (Tabla 2 y 3, en nuestro caso  $8780 \text{ Kg/m}^3$ ).

$P_{m2}$ : Peso específico del líquido (Agua  $1000 \text{ Kg/m}^3$ ).

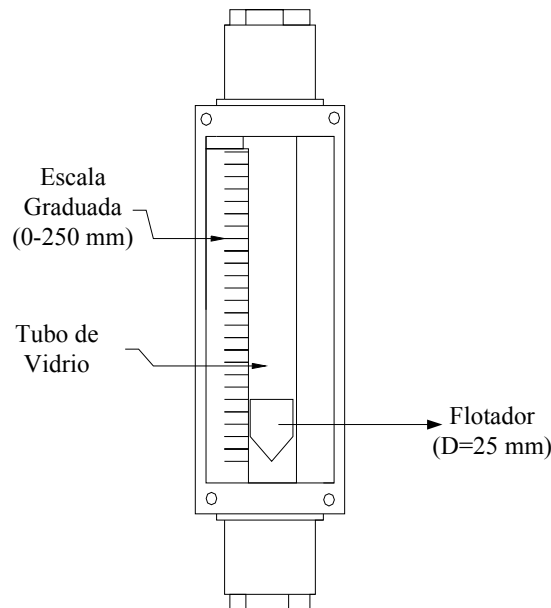


Fig. 4. Rotámetro

## 2.5. MEDIDOR MAGNETICO DE FLUJO

Es un medidor de tensión inducida que se basa en la ley de Faraday, la cual establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor que se mueve perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor. En el caso del medidor magnético de flujo el conductor es el fluido que se encuentra entre dos electrodos colocados transversalmente al conducto, y el campo magnético es generado por dos bobinas tal como se muestra en la Fig.5. La tensión que se mide entre los dos electrodos será proporcional la velocidad del fluido según la expresión:

$$E_s = K * B * l * v$$

Donde:

Es: Tensión generada en el conductor.

K: Constante.

B: Intensidad del campo magnético.

L: longitud del conductor.

v: velocidad del moviendo.

Como esta tensión por lo general es muy pequeña se requiere de un amplificador para poder medirla fácilmente y por ende medir el caudal.

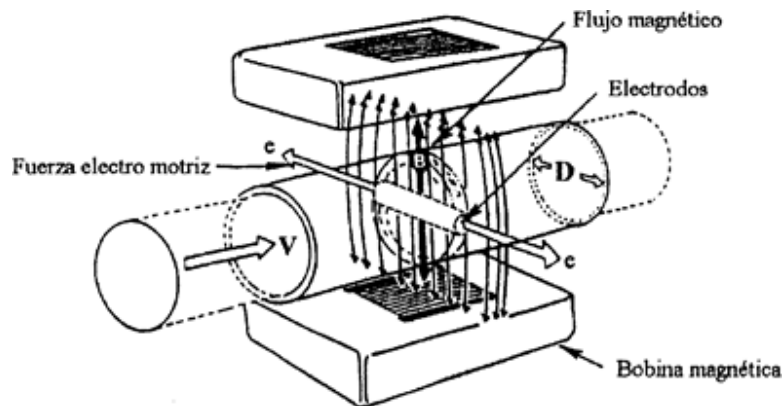


Fig. 5. Medidor Magnético de Flujo

## 2.6. MEDIDOR DE TURBINA

Este consiste en un rotor que gira con el paso de un fluido, con un desplazamiento que es directamente proporcional al volumen del agua que pasa a través de éste.

El utilizado en el laboratorio consta de dos escalas, un contador numérico que mide los metros cúbicos y una aguja que mide los litros. La transmisión entre el rotor y la escala es totalmente mecánica. Para medir caudal con este instrumento se hace pasar un flujo por él, y se resta la medida inicial a la medida final del contador numérico, midiendo el tiempo mediante el cuál se realizó el cambio de medida.

## 2.7. MEDICIÓN DEL CAUDAL DE CALIBRACIÓN.

La medida precisa del caudal para la calibración de los instrumentos se hace mediante el llenado de un tanque de volumen conocido, midiendo el tiempo que se tarda en realizar el llenado. Para esto se utiliza un tanque de área conocida y altura conocida. También, se utiliza un reloj digital para medir el tiempo de llenado.

Este sistema funciona de la siguiente manera:

El tanque de dimensiones conocidas tiene dos valores de nivel prefijados marcados a lo largo de la altura del tanque. Un nivel inferior y un nivel superior. Cuando se comienza a llenar el tanque y el agua toca el nivel inferior, se arranca la medición del tiempo de llenado. Cuando el agua toca la marca del nivel superior, que tiene una altura prefijada se detiene el reloj. De esta manera se estaría obteniendo el tiempo de llenado de un volumen conocido (área del tanque por la altura que existe entre los dos valores de nivel prefijados). Finalmente, el caudal se calcularía como el cociente entre el volumen conocido y el tiempo que se tarda en llenar este volumen conocido, es decir

$$Q = V / t$$

## 3. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA

- Familiarizarse con diferentes instrumentos utilizados para medir flujos en tuberías
- Conocer el uso y aplicación que pueden tener estos instrumentos
- Aprender un método para la calibración de dichos instrumentos



#### 4. EQUIPOS Y MATERIALES

##### a) Equipos del Laboratorio

Sistema automático para calibrar medidores de flujo, que consta de:

- Banco para medidores de Flujo
- Cronómetro (reloj digital)

Tal como se ilustra a continuación en el esquema del equipo utilizado.

##### b) Materiales que debe traer el estudiante

- Formulario para la elaboración del informe

#### PROCEDIMIENTO

**Experimento 1:** Calibración del tubo Vénturi, Tobera, Placa de Orificio y Medidor Magnético.

**Paso 1:** Cerrar las válvulas correspondientes a las líneas del Rotámetro y al medidor de Turbina. Seguidamente, abrir completamente la válvula correspondiente a la línea de la Placa de Orificio.

**Paso 2:** Energizar el sistema para que el flujo pase a través de la línea que tenga la válvula abierta.

**Paso 3:** Proceder a tomar medidas de diferencias de presión (en Tubo Vénturi, Tobera y Placa de Orificio) y voltaje en el Medidor Magnético. Al mismo tiempo tomar las medidas del tiempo de llenado del tanque para calcular el caudal de agua.

**Paso 4:** Se repite la operación del paso 3 de toma de medidas de diferencias de presión y voltaje pero, cerrando progresivamente la válvula hasta tomar un número de mediciones que permitan realizar una gráfica adecuada. Finalmente, colocar todos los datos medidos en la Tabla 1.

**Paso 5:** Realizar una gráfica con los caudales medidos ( $Q_m$ ) y los caudales calculados ( $Q_c$ ) para cada uno de los instrumentos medición (Vénturi, Tobera, Placa de Orificio y el Medidor Magnético) Se deben realizar dos gráficas, una de  $Q_m$  y  $Q_c$  vs  $\Delta P$  y otra de  $Q_m$  vs voltaje.

**Paso 6:** Realice una gráfica del error estático vs  $\Delta P$  y una del error estático vs voltaje

**Tabla 1**

Apertura Válvula	H(cm)	V(lt)	t(s)	$\Delta p$ (cm)	$\Delta p_t$ (cm)	$\Delta h_v$ (cm)	Voltaje(V)	$Q_m$ (lt/s)
<i>Abierto</i>								

Donde:

H: Altura de referencia del tanque

V: Volumen del tanque

t: Tiempo de llenado del tanque

$\Delta p$ : diferencia de presión en la Placa de Orificio

$\Delta p_t$ : diferencia de presión en la Tobera

$\Delta h_v$ : diferencia de presión en el Vénturi

$Q_m$ : Caudal medido

**Experimento 2:** Calibración del Rotámetro

**Paso 1:** Cerrar las válvulas correspondientes a las líneas de la placa de orificio y al medidor de Turbina. Seguidamente, abrir completamente la válvula correspondiente a la línea del Rotámetro.

**Paso 2:** Energizar el sistema para que el flujo pase a través la línea del Rotámetro.

**Paso 3:** Se procede a cerrar progresivamente la válvula que está abierta y a tomar las medidas correspondientes a la posición del flotador del rotámetro. Igualmente, se mide el tiempo de llenado del volumen previamente fijado. Todos estos valores se registran en la Tabla 2

**Paso 4:** Se repite la operación del Paso 3 hasta tener un numero de mediciones que permita realizar una grafica adecuada.

**Paso 5:** Realizar una grafica de  $Q_m$  y  $Q_c$  vs  $h$

**Paso 6:** Realizar una grafica del error estático vs  $h$

**Tabla 2**

Apertura Válvula	H (cm)	V (lt)	t(s)	h(cm)	$Q_m$ (lt/s)
<i>Abierto</i>					

Donde:  $h$ : Altura del flotador del rotámetro.

$H$ : Altura de referencia del tanque

**Experimento 3:** Calibración del Medidor de Turbina.

Cerrar las válvulas correspondientes a las líneas de la placa de orificio y al medidor de Turbina. Seguidamente, abrir completamente la válvula correspondiente a la línea del Rotámetro.

**Paso 1:** Abrir la válvula correspondiente a la línea del Rotámetro y cerrar la válvula correspondiente a la línea de la placa de orificio. Igualmente, abrir la válvula que permite comunicar al rotámetro con el medidor de Turbina para que de esta manera el flujo pase primero por el rotámetro (caudal previamente calibrado) y luego por el medidor de turbina

**Paso 2:** Energizar el sistema para que el flujo pase a través de la línea que tenga la válvula abierta.

**Paso 3:** Se procede a cerrar progresivamente la válvula que está abierta y a tomar las medidas correspondientes a la posición del flotador del rotámetro. Igualmente, se mide el tiempo que tarda en pasar este volumen (que previamente a pasado por el rotámetro) a través del medidor de turbina.

**Paso 5:** Determinar el caudal con la siguiente expresión:

$$Q_m = V / t$$

**Paso 6:** Realizar una grafica de  $Q_c$  vs  $Q_{\text{rotámetro}}$ . Igualmente realizar una grafica del error estático vs  $Q_{\text{rotámetro}}$

**Tabla 3**

Apertura Válvula	H (cm)	V (lt)	t(s)	h(cm)	Qm (lt/s)
Abierto					

Donde:

h: Altura del flotador del rotámetro

t: tiempo que tarda en pasar el volumen del fluido por el medidor de turbina

### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

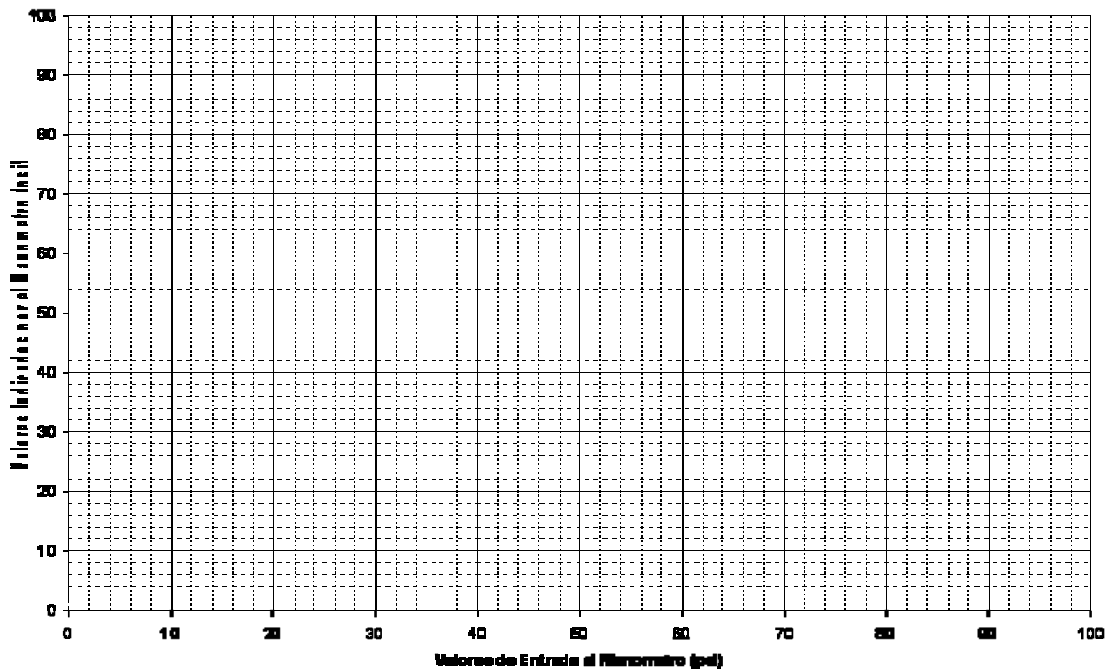
- Instrumentación Industrial. Creus, Antonio.
- Diseño y construcción de un banco de pruebas para medición de flujo (Proyecto de grado) Cabrera, Gabriel y Zorro, Cristian.
- Norma ISO-5167

**FORMATO PARA INFORMES  
DE LA  
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE  
INSTRUMENTACIÓN**

<b>Práctica N° 1</b>			
<b>Título:</b>			
<b>Realizada por:</b>	Nombre	Cédula	Firma
<b>Fecha de realización:</b>		<b>Sección:</b>	
<b>Introducción</b>			

**Experimento 1.** Valores indicados por el manómetro descalibrado.

Valores de Entrada al Manómetro (psi)	Valores indicados por el Manómetro (psi)

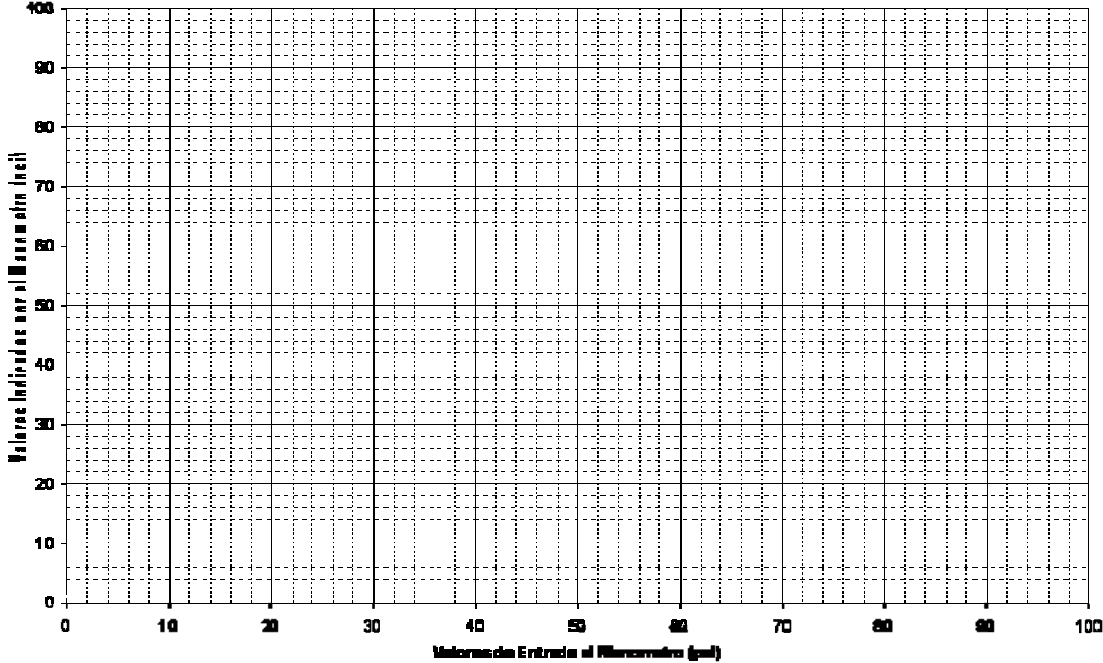


**Análisis de Resultados**

LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN

**Experimento 2.** Valores indicados de forma ascendente y descendente por el manómetro calibrado.

Valores de Entrada al Manómetro (psi)	Valores ascendentes indicados por el Manómetro (psi)	Valores descendentes indicados por el Manómetro (psi)



**Análisis de Resultados**

**Conclusiones**

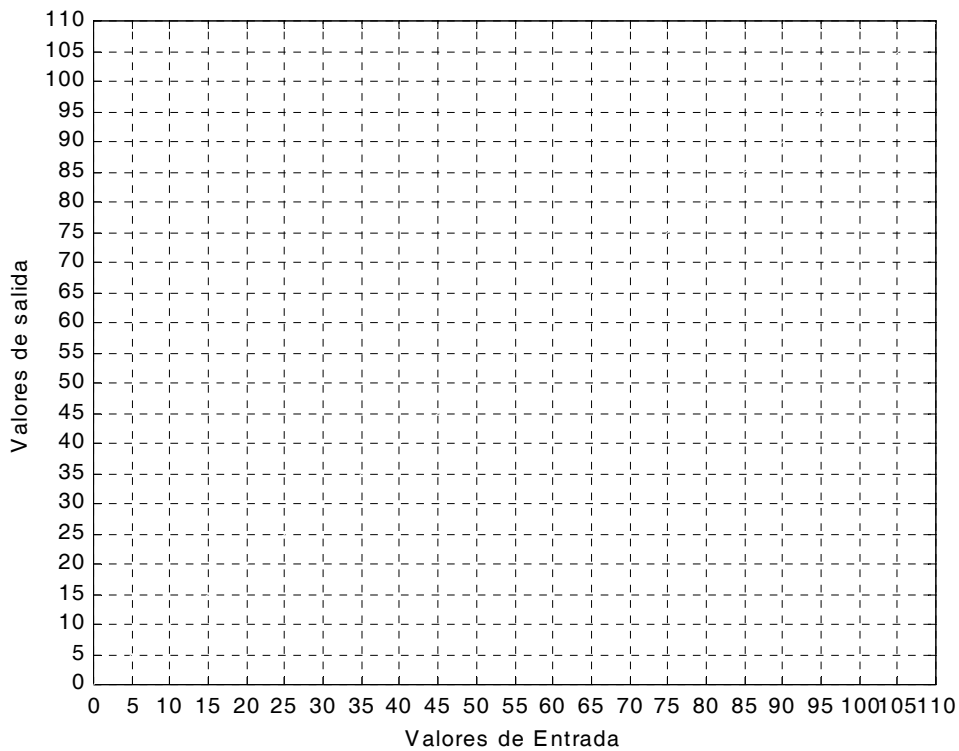
**Recomendaciones**



<b>Práctica N° 2</b>			
<b>Título:</b>			
<b>Realizada por:</b>	Nombre	Cédula	Firma
<b>Fecha de realización:</b>		<b>Sección:</b>	
<b>Introducción</b>			

**Experimento 1:** Verificación de la calibración del Instrumento

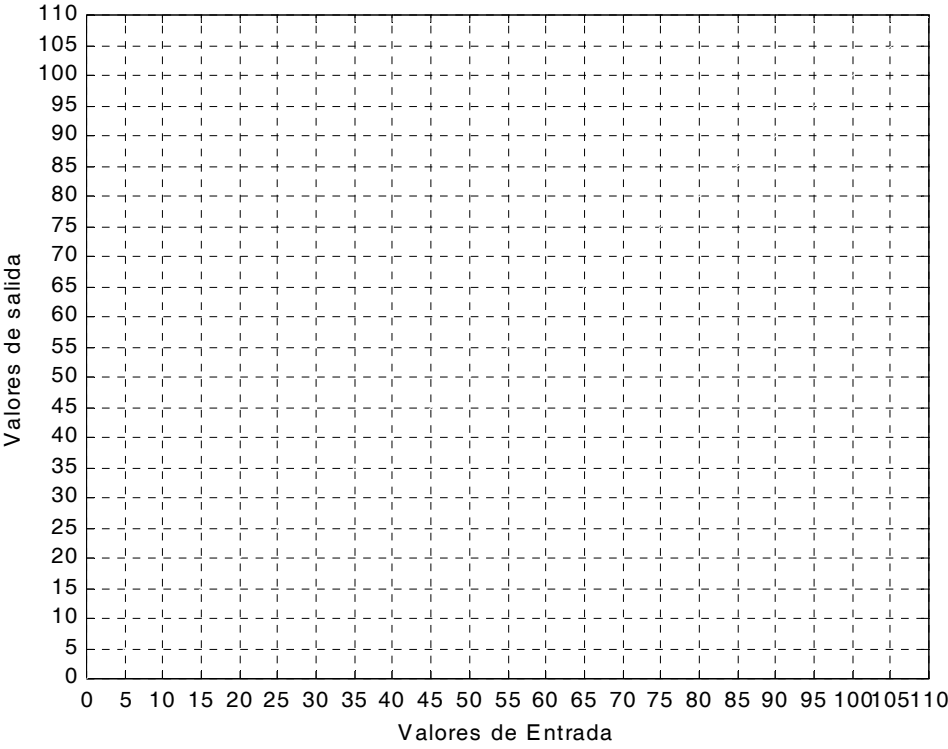
Valores de Entrada (%)	Valores de salida en el Registrador



**Análisis de la Grafica:**

**Experimento 2: Calibración del desvió de cero y de amplitud**

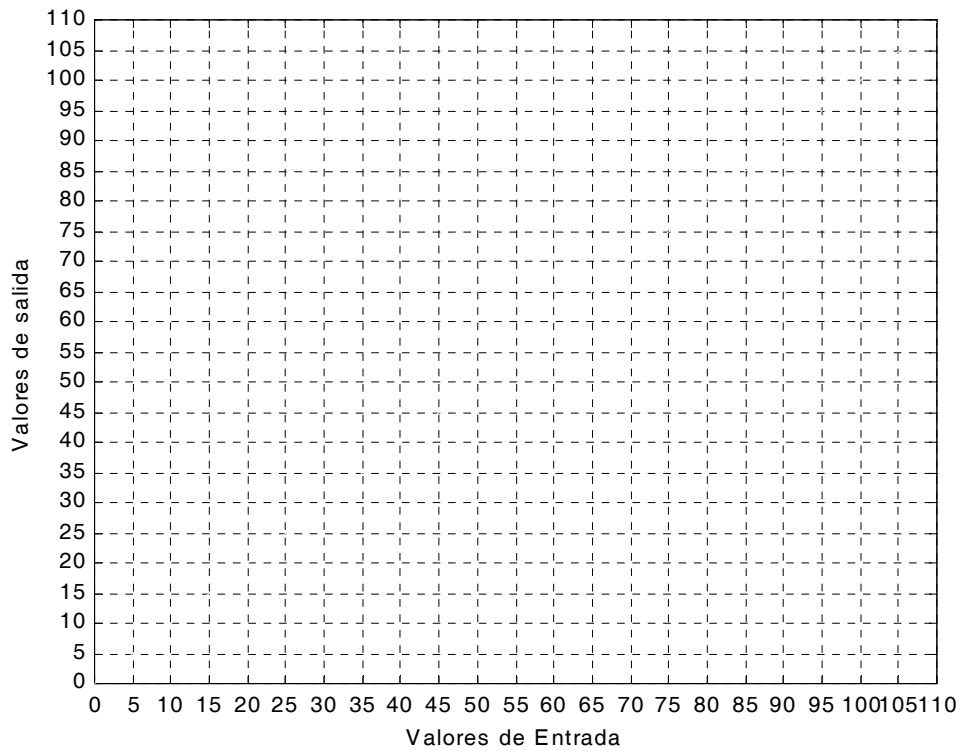
Valores de Entrada (%)	Valores de salida en el Registrador



**Análisis de la Grafica:**

**Experimento 3:** Calibración de Angularidad

Valores de Entrada (%)	Valores de salida en el Registrador



**Análisis de la Grafica:**

### ASIGNACIONES

- Con los valores  $d$ ,  $R$ ,  $M$  y  $L$  medidos represente en una escala conveniente (2:1) el mecanismo amplificador en las posiciones 0%, 50% y 100% de la amplitud, Si  $\beta=46^\circ$  ¿cuánto vale el ángulo  $\alpha$ ?, comente.

- Determine el valor de  $L$  con la siguiente expresión y compárelo con el valor medido. Si hay diferencia comente.

$$d^2 = L^2 + (M - R)^2$$

- ¿El Registrador calibrado, es un instrumento a circuito cerrado o abierto, por qué?

- Comente si el instrumento patrón utilizado es el indicado para realizar la calibración del instrumento.

**Conclusiones**

**Recomendaciones**



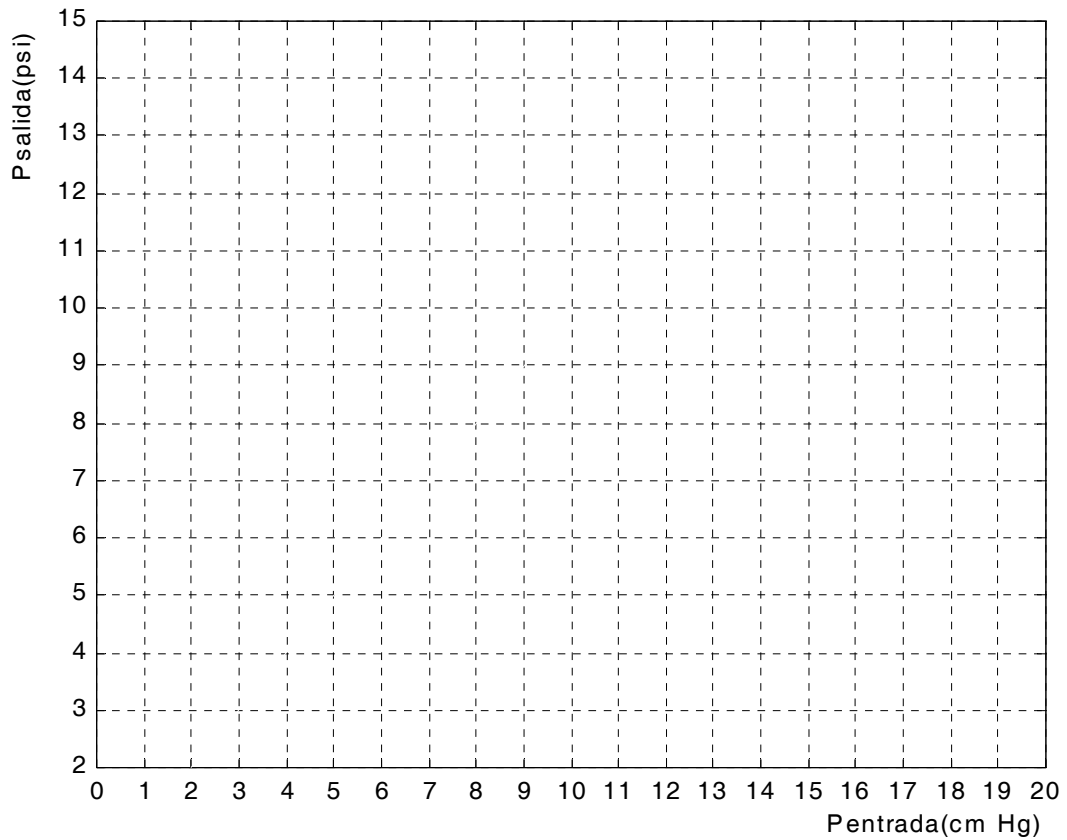
<b>Práctica N° 3</b>			
<b>Título:</b>			
<b>Realizada por:</b>	Nombre	Cédula	Firma
<b>Fecha de realización:</b>		<b>Sección:</b>	
<b>Introducción</b>			



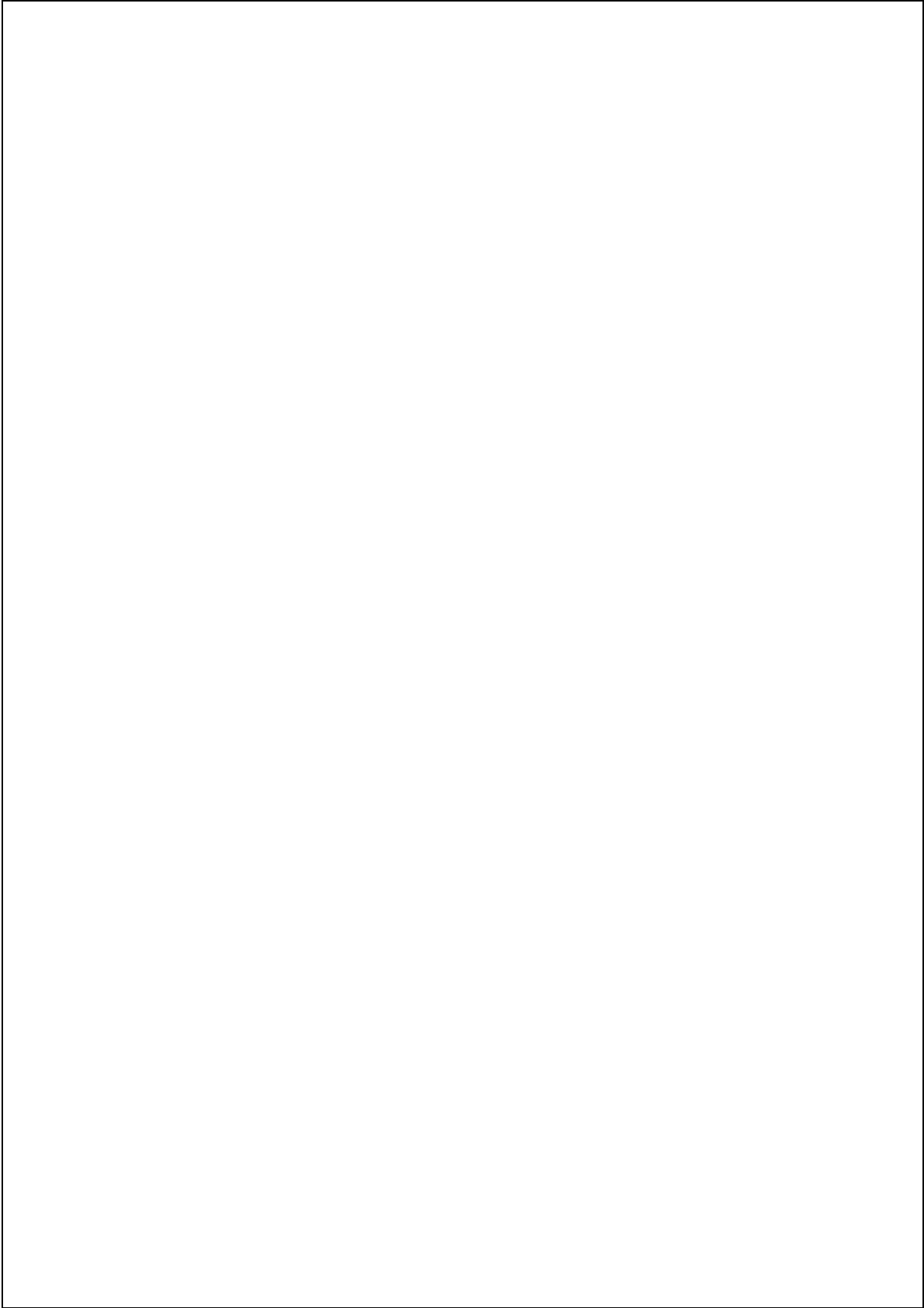
**Experimento 1:** Calibración del Transmisor de presión diferencial

Gama de entrada de 0 a 18 cm Hg			Gama de entrada de 2 a 18 cm Hg		
Lecturas descalibradas		Lecturas calibradas	Lecturas descalibradas		Lecturas calibradas
entrada	salida	salida	entrada	salida	salida

Curva de calibración del Transmisor de Presión Diferencial

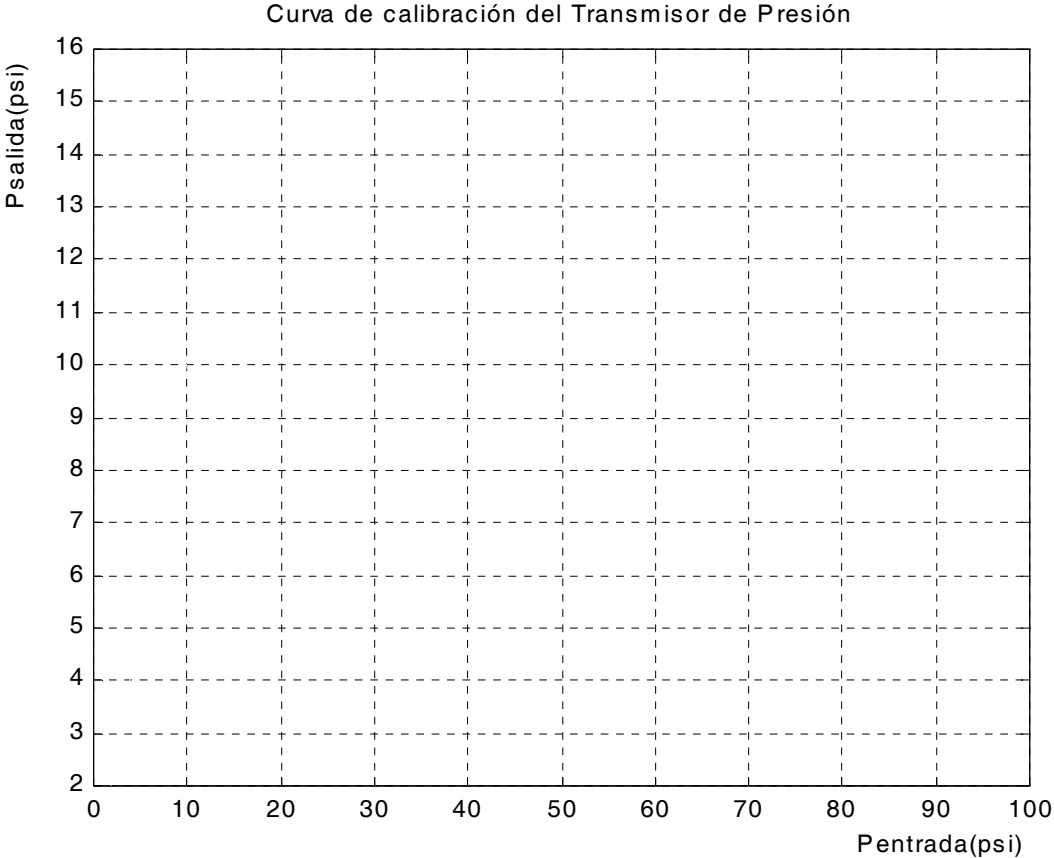


**Análisis de la Grafica:**

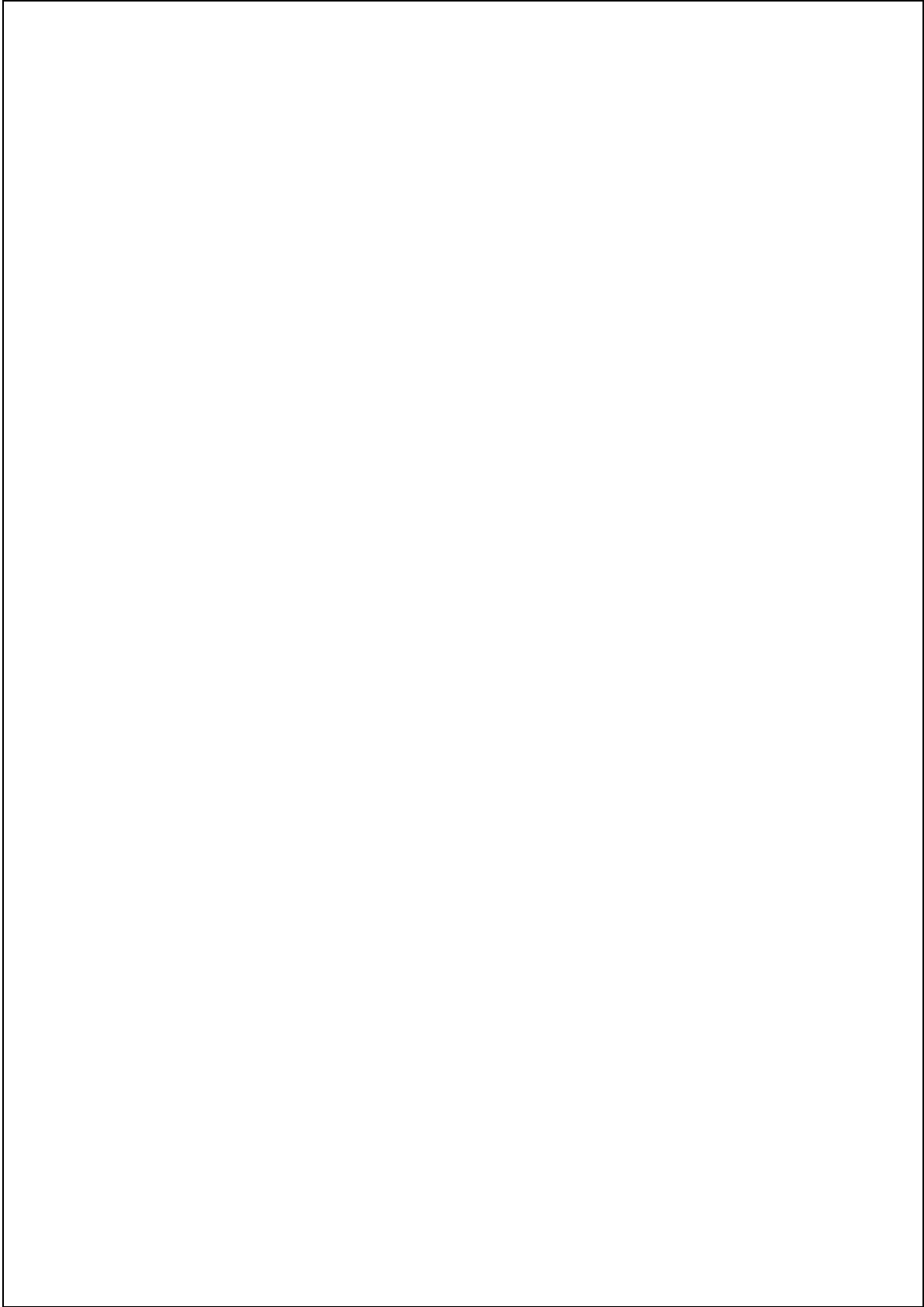


**Experimento 2: Calibración del Transmisor de presión**

<b>Gama de entrada de 0 a 90 psi</b>			<b>Gama de entrada de 30 a 90 psi</b>		
<b>Lecturas descalibradas</b>		<b>Lecturas calibradas</b>	<b>Lecturas descalibradas</b>		<b>Lecturas calibradas</b>
<b>entrada</b>	<b>salida</b>	<b>salida</b>	<b>entrada</b>	<b>salida</b>	<b>salida</b>



**Análisis de la Grafica:**



**Conclusiones**

**Recomendaciones**

<b>Práctica N° 4</b>			
<b>Título:</b>			
<b>Realizada por:</b>	Nombre	Cédula	Firma
<b>Fecha de realización:</b>		<b>Sección:</b>	
<b>Introducción</b>			

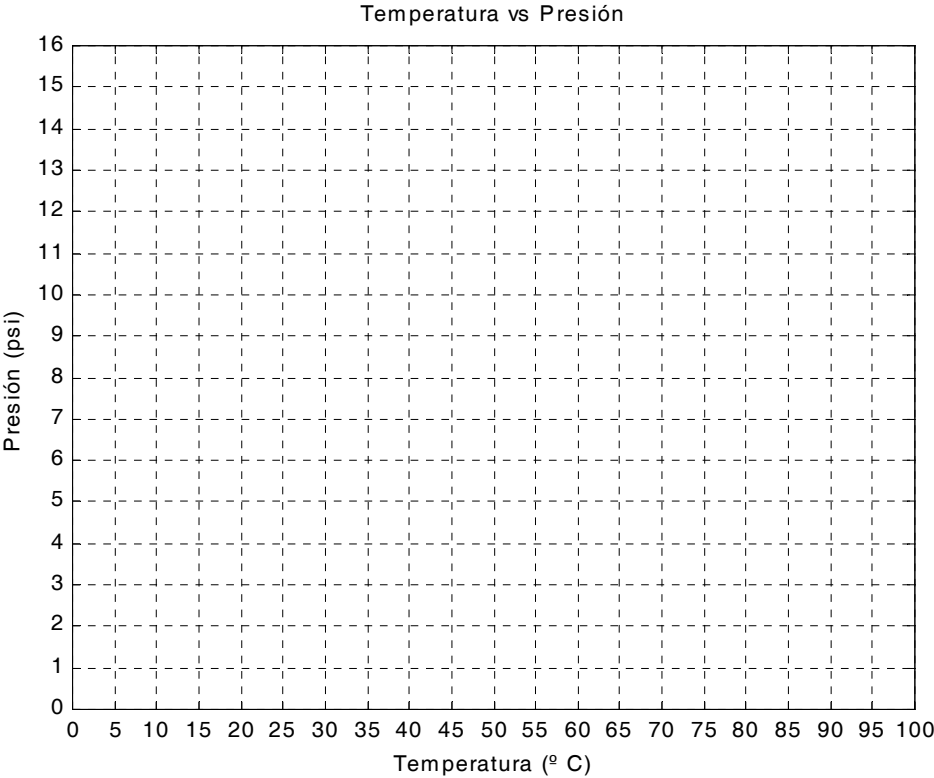
**Experimento 1:** Calibración del Transmisor Neumático y electrónico de temperatura.

Tabla 1. Lecturas descalibradas

Temperatura (Entrada) °C	Presión (T. neumático) psi	Presión (T. electrónico) psi

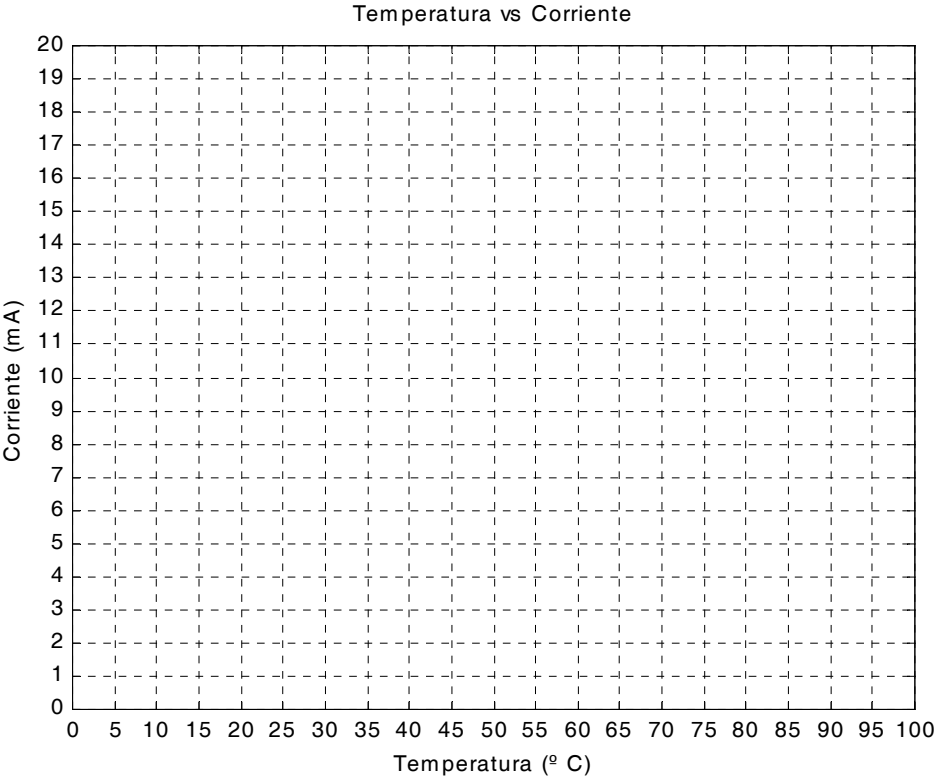
Tabla 2. Lecturas calibradas

Temperatura (Entrada) °C	Presión (T. neumático) psi	Presión (T. electrónico) psi



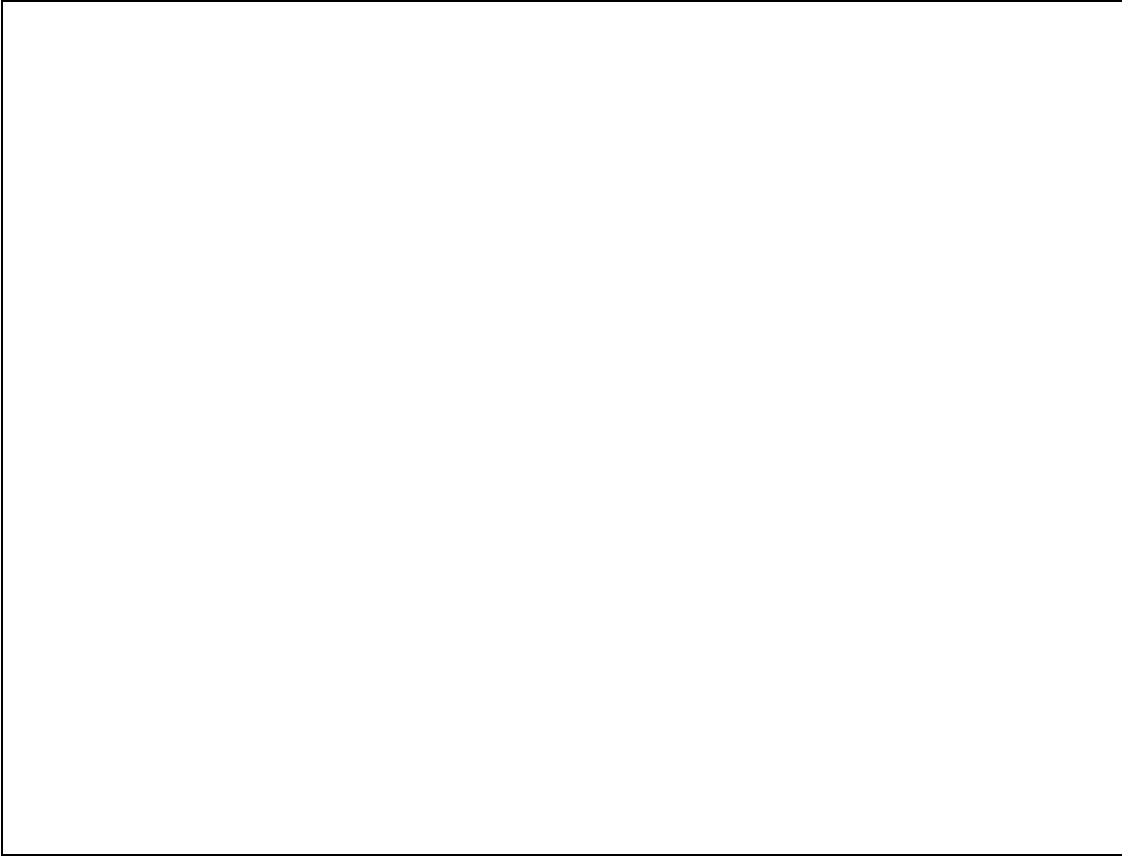
**Análisis de la Grafica:**



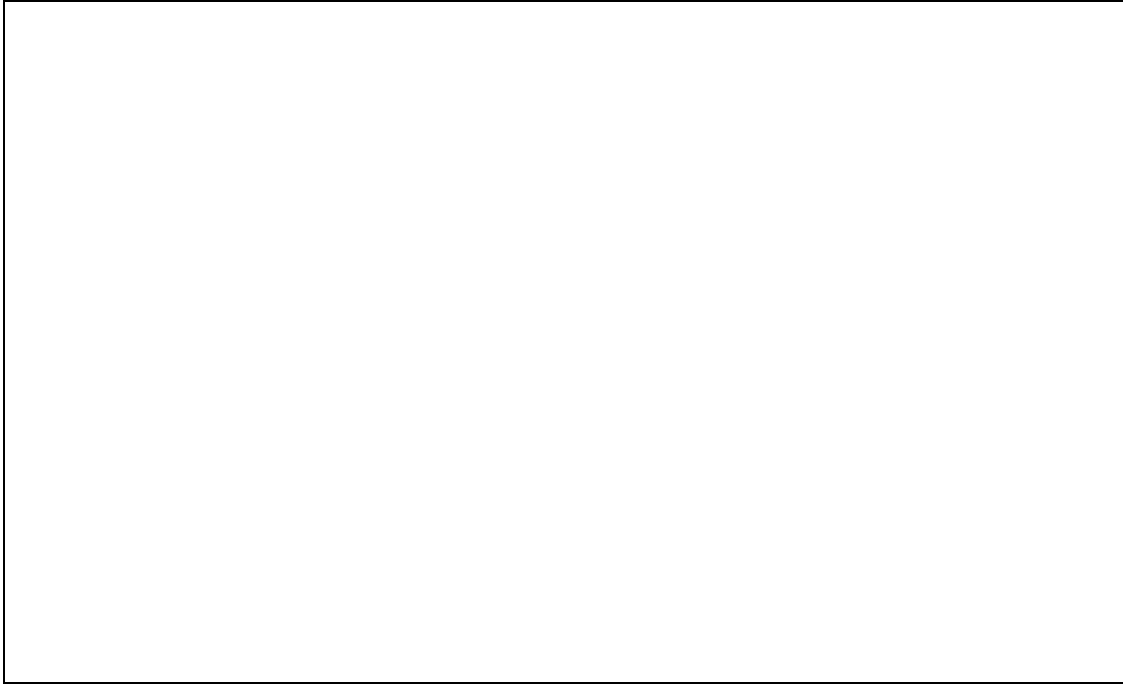


**Análisis de la Grafica:**

**Conclusiones**



**Recomendaciones**



<b>Práctica N° 5</b>			
<b>Título:</b>			
<b>Realizada por:</b>	Nombre	Cédula	Firma
<b>Fecha de realización:</b>		<b>Sección:</b>	
<b>Introducción</b>			

**Experimento 1: Comprobación de la Ley de circuitos homogéneos.**

		Termopar		
		T	J	K
Junta de medición en agua hirviendo	EM <sub>hirviendo</sub>			
	T <sub>34</sub>			
	T <sub>hirviendo</sub>			
Juntas 3 y 4 a T <sub>60</sub> °C	EM			
EM de Tablas de Termopares	EM <sub>hirviendo</sub>			
	EM			

**Observaciones y cálculos sobre el experimento**

**Experimento 2: Comprobación de la Ley de metales intermedios.**

		Termopar			
		J			T
Juntas fuera de los recipientes	$T_{\text{Ambiente}}$		Juntas de medición en agua hirviendo	$EM_{\text{hirviendo}}$	
	$T_{\text{hirviendo}}$				
	$T_{\text{otro-recipiente}}$				
Juntas de medición en agua hirviendo	$EM_{\text{hirviendo}}$		EM de Tablas de Termopares	$EM_{\text{hirviendo}}$	
Junta adicional en el recipiente a 60 °C	EM				
EM de Tablas de Termopares	$EM_{\text{hirviendo}}$				
	EM				

**Observaciones y cálculos sobre el experimento**

**Experimento 3: Comprobación de la Ley de las Temperaturas intermedias.**

	Valores a Medir	Termopar		
		J	K	T
	$T_a$			
	$T_{\text{hirviendo}}$			
	$T_{60^\circ\text{C}}$			
Ambiente	$T_1$			
Agua Hirviendo	$T_2$			
	Ei			
Agua Hirviendo	$T_2$			
Agua 60°C	$T_1$			
	Ei			
Ambiente	$T_1$			
Agua 60°C	$T_2$			
	Ei			

**Cálculos y Observaciones**

**Conclusiones**

**Recomendaciones**





<b>Práctica N° 6</b>			
<b>Título:</b>			
<b>Realizada por:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Cédula</b>	<b>Firma</b>
<b>Fecha de realización:</b>		<b>Sección:</b>	
<b>Introducción</b>			

**Experimento 1: Termopares en Serie**

**Arreglo 3.2.1**

Temperatura				Juntas Dentro de los recipientes	Dentro del recipiente ( $T_2$ )	Cada termopar conectado al milivoltmetro		
Tr	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	EM	EM <sub>T<sub>2</sub></sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>

**Observaciones y cálculos sobre el experimento**

**Arreglo 3.2.8**

Fuera de los recipientes				Juntas Dentro de los recipientes	Dentro del recipiente ( $T_2$ )	Cada termopar conectado al milivoltmetro		
Tr	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	EM	EM <sub>T<sub>2</sub></sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>

**Observaciones y cálculos sobre el experimento**



---

Termopares Fe-Kn y Cr-Al dentro de T <sub>2</sub>	
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>

**Observaciones y cálculos sobre el experimento**

**Experimento 2: Termopares en Paralelo.**

**Arreglo 4.2.1**

Fuera de los recipientes				Juntas Dentro de los recipientes	Dentro del recipiente ( $T_2$ )	Cada termopar conectado al milivoltmetro		
Tr	$T_1$	$T_2$	$T_3$	EM	$EM_{T_2}$	$E_1$	$E_2$	$E_3$

**Observaciones y cálculos sobre el experimento**

**Arreglo 4.2.8**

Fuera de los recipientes				Juntas Dentro de los recipientes	Dentro del recipiente ( $T_2$ )	Cada termopar conectado al milivoltmetro		
Tr	$T_1$	$T_2$	$T_3$	EM	$EM_{T_2}$	$E_1$	$E_2$	$E_3$

**Observaciones y cálculos sobre el experimento**



LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN

---

---

<b>Termopares Cr-Al y Cu-Kn dentro de T<sub>2</sub></b>					
<b>T<sub>r</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>E<sub>M</sub></b>	<b>E<sub>1</sub></b>	<b>E<sub>2</sub></b>	<b>E<sub>3</sub></b>

**Observaciones y cálculos sobre el experimento**

**Experimento 3: Calibración de un Termopar.**

T (°C)	Termopar tipo R ( $P_t + 13\% Rh, P_t$ ), f.e.m. (mV)	Termopares a Calibrar	
		Termopar Cr-Kn f.e.m. (mV)	Termopar Cu-Kn f.e.m. (mV)
205	1.504		
195	1.405		
185	1.309		
175	1.214		
165	1.121		
155	1.030		
145	0.939		
135	0.851		
125	0.764		
115	0.721		
105	1.504		
95	1.405		

**Observaciones y cálculos sobre el experimento**



**Conclusiones**

**Recomendaciones**

<b>Práctica N° 7</b>			
<b>Título:</b>			
<b>Realizada por:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Cédula</b>	<b>Firma</b>
<b>Fecha de realización:</b>		<b>Sección:</b>	
<b>Introducción:</b>			

**Experimento 1:** Calibración del tubo Vénturi, Tobera, Placa de Orificio y Medidor Magnético.

**Tabla 1a. Valores medidos (Placa Orificio, Tobera de Flujo, Tubo Vénturi y Medidor Magnético)**

Apertura Válvula	H(cm)	V(lt)	t(s)	$\Delta p$ (cm)	$\Delta p_t$ (cm)	$\Delta h_v$ (cm)	Voltaje(V)	$Q_m$ (lt/s)
Abierto								

Realice un calculo demostrativo del flujo en cada uno de los medidores utilizados. Complete la Tabla 1b y realice las graficas correspondientes a:

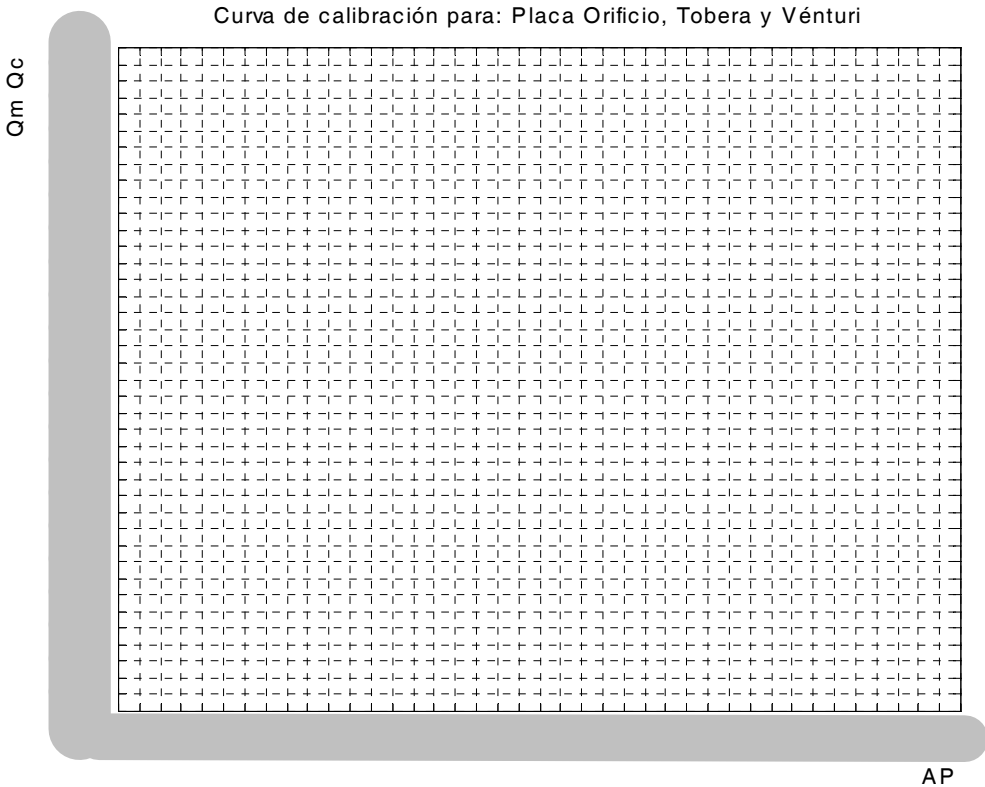
- a)  $Q_m$  y  $Q_c$  vs  $\Delta P$     b)  $Q_m$  vs voltaje    c) error estático vs  $\Delta P$  y error estático vs voltaje

**Tabla 1b. Valores calculados (Placa Orificio, Tobera de Flujo, Tubo Vénturi y Medidor Magnético)**

		Valores calculados							
		Vénturi		Tobera		Placa Orificio		Medidor Magnético	
Apertura Válvula	$Q_m$	$Q_c$	Error estático	$Q_c$	Error estático	$Q_c$	Error estático	$Q_c$	Error estático

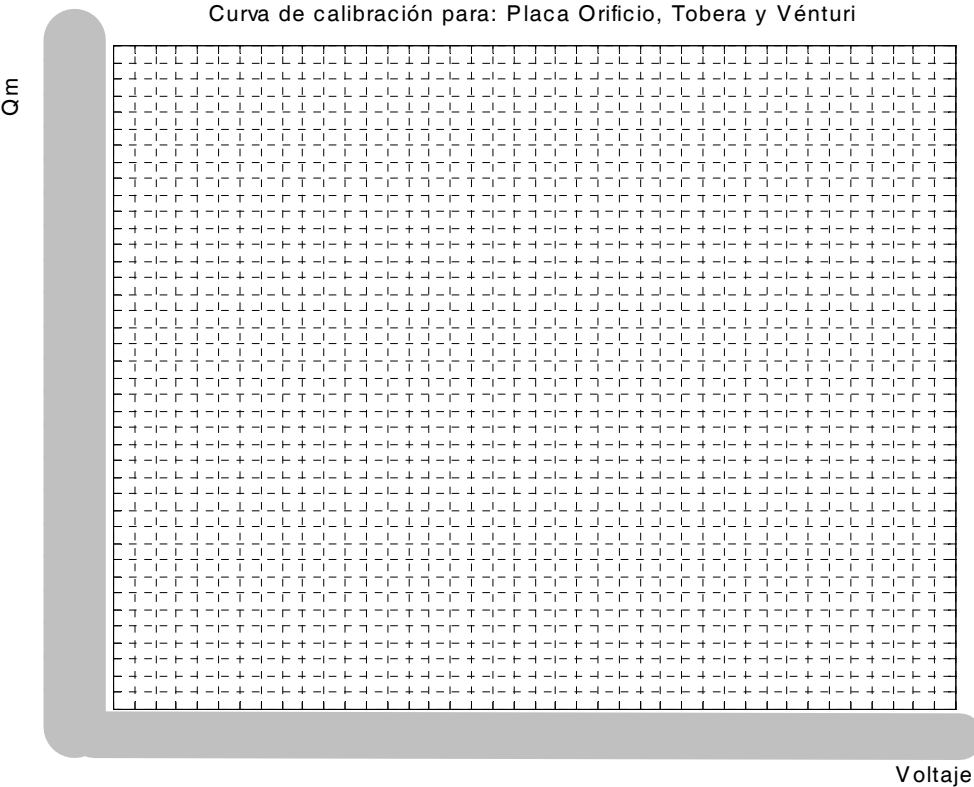
**Cálculos demostrativos**





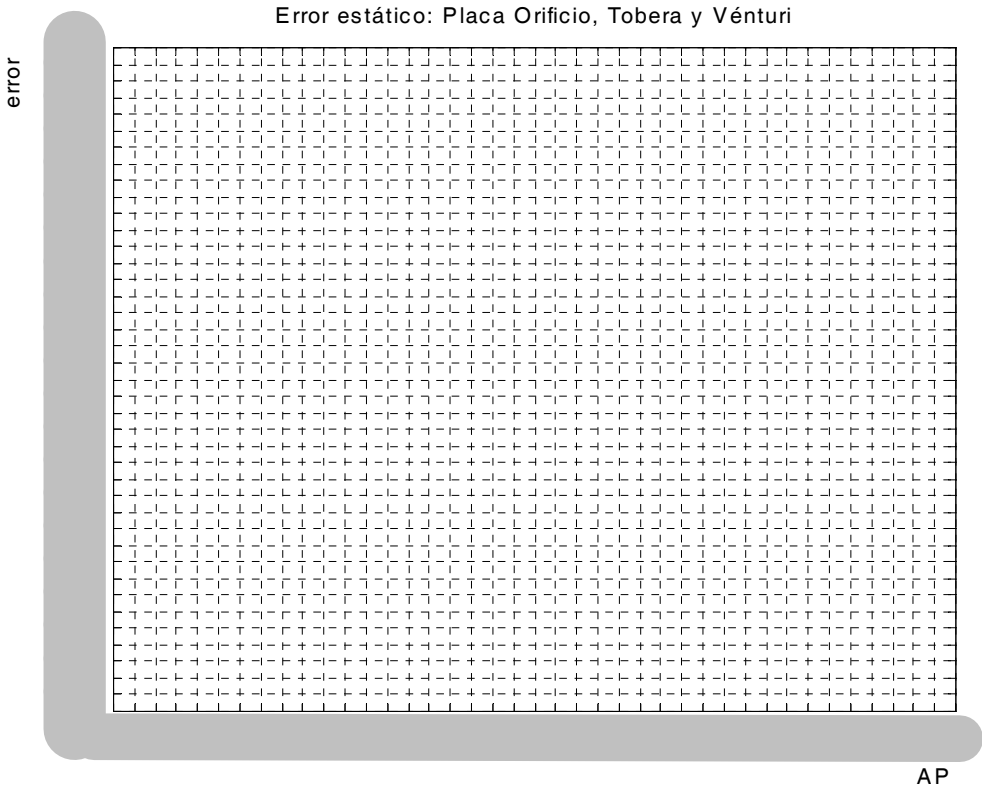
**Análisis de la Grafica**

A large empty rectangular box intended for the student's analysis of the graph.

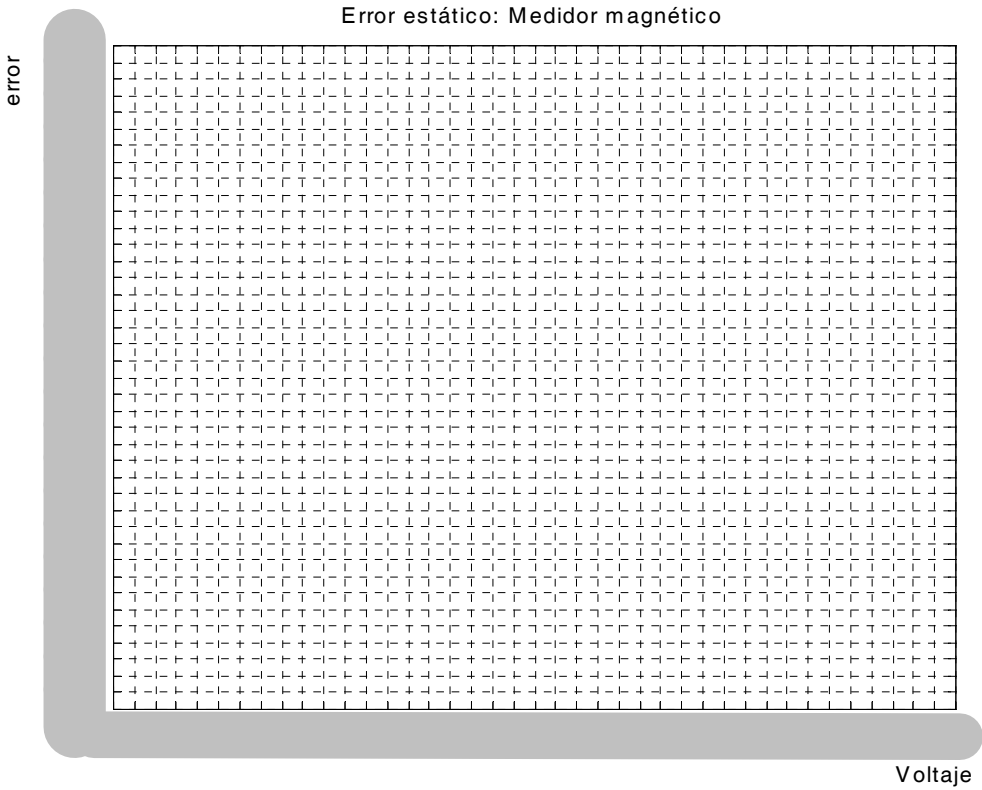


**Análisis de la Grafica**

A large empty rectangular box provided for the student to write their analysis of the graph.



**Análisis de la Grafica**



**Análisis de la Grafica**



**Experimento 2:** Calibración del Rotámetro

**Tabla 2a. Valores medidos para el Rotámetro**

Apertura Válvula	H (cm)	V (lt)	t(s)	h(cm)	Qm(lt/s)
Abierto					

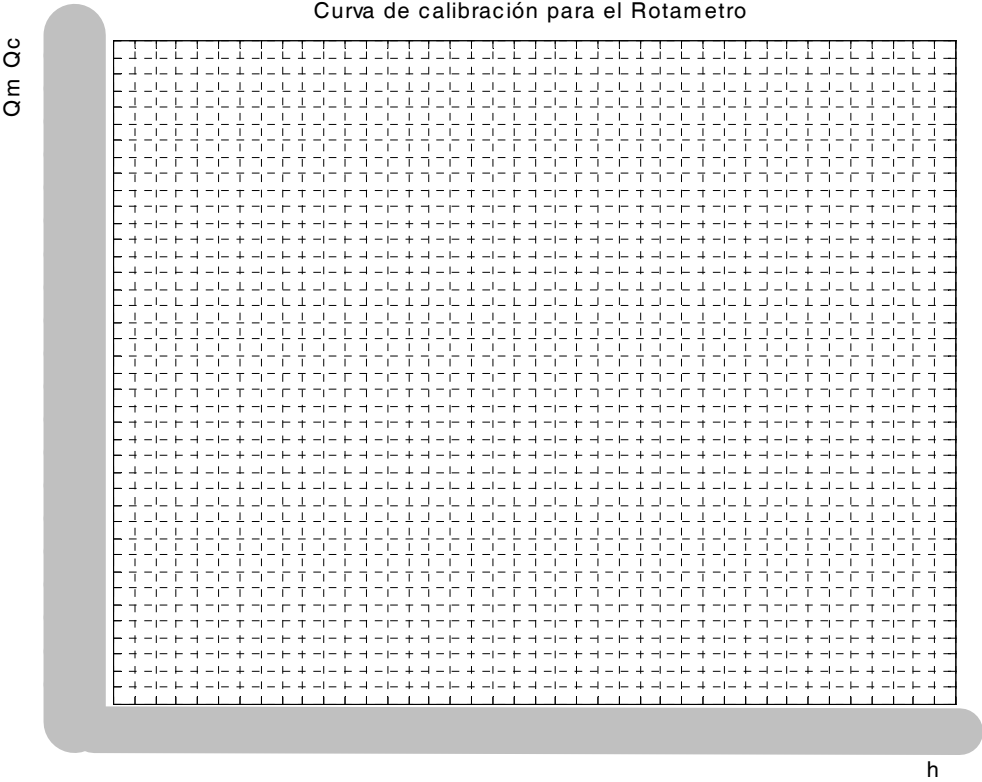
Realice un calculo demostrativo para del flujo que pasa a través del Rotámetro. Complete la Tabla 2b y realice las graficas correspondientes a:

- a)  $Q_m$  y  $Q_c$  vs  $h$  b) estático vs  $h$

**Tabla 2b. Valores calculados para el Rotámetro**

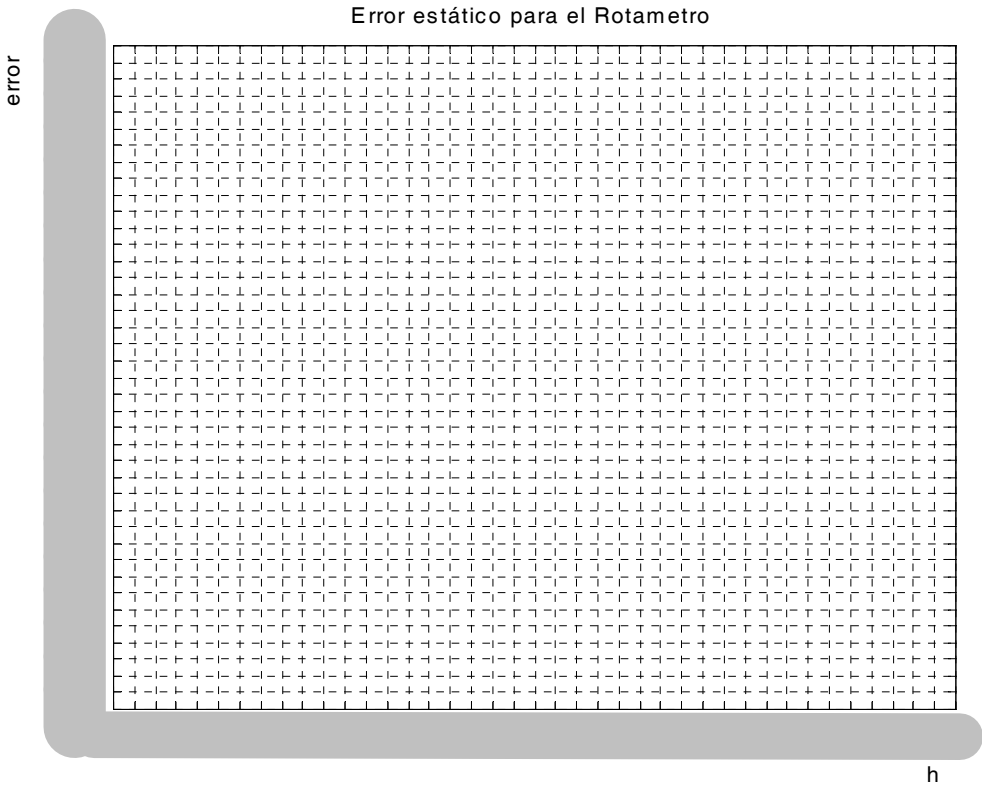
Apertura Válvula	$Q_m$	Valores calculados en el Rotámetro	
		$Q_c$	Error estático

**Cálculos demostrativos**



**Análisis de la Grafica**

A large empty rectangular box provided for the analysis of the graph.



**Análisis de la Grafica**

**Experimento 3:** Calibración del Medidor de Turbina.

**Tabla 3a**

Apertura Válvula	H (cm)	V (lt)	t(s)	h(cm)	Qm (lt/s)
Abierto					

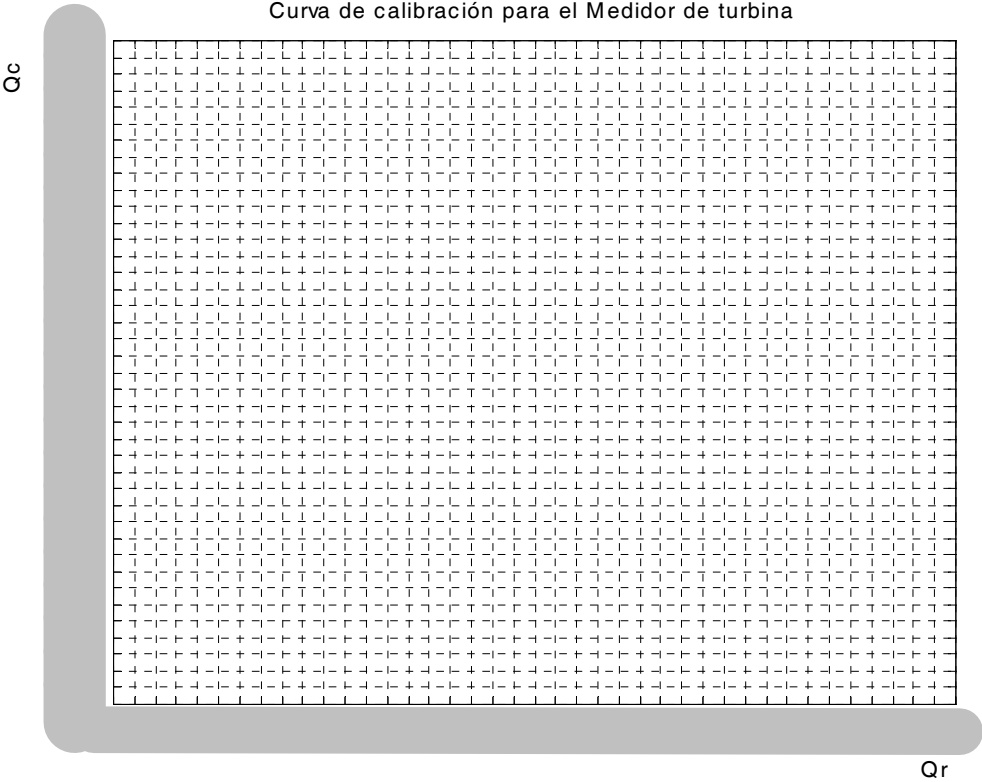
Realice un calculo demostrativo para del flujo que pasa a través del medidor de turbina. Complete la Tabla 3b y realice las graficas correspondientes a:

- a)  $Q_c$  vs  $Q_{rotametro}$       b) error estático vs  $Q_{rotametro}$

**Tabla 3b**

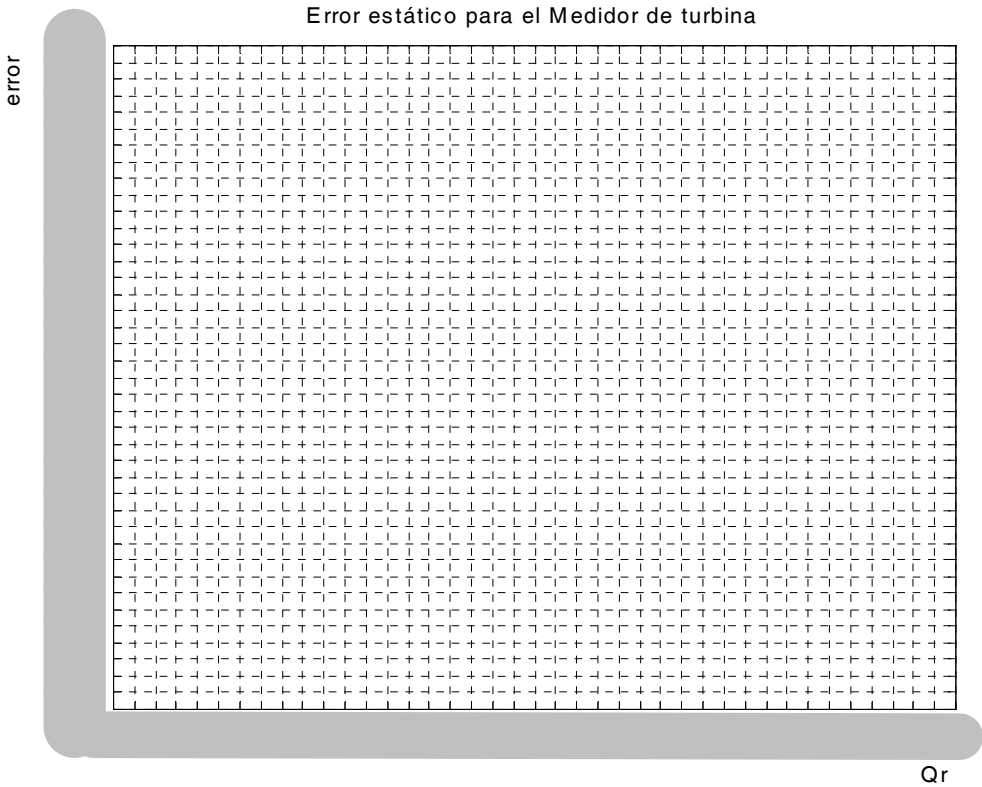
Apertura Válvula	Qm (en el rotámetro)	Valores calculados en el medidor de Turbina	
		Qc	Error estático

**Cálculos demostrativos**



**Análisis de la Grafica**

A large empty rectangular box provided for the student to write their analysis of the graph.



**Análisis de la Grafica**

**Conclusiones**

**Recomendaciones**