

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL ROSARIO  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO PRÁCTICO Nº 13

TEMA:

- **MEDICIONES ELÉCTRICAS DE MAGNITUDES NO ELÉCTRICAS -  
TRANSDUCTORES**

## TRABAJO PRACTICO Nº 13

### **TEMA: MEDICIONES ELÉCTRICAS DE MAGNITUDES NO ELÉCTRICAS - TRANSDUCTORES**

#### **1. CONSIDERACIONES TEÓRICAS:**

En Ingeniería es frecuente la necesidad de efectuar mediciones de magnitudes no eléctricas, tales como deformación, fuerza, presión, temperatura, velocidad de flúidos, etc., mediante instrumentos de medición habitualmente utilizados para medir magnitudes eléctricas.

Es entonces que se requiere traducir aquellas magnitudes a valores de tensión o corriente de modo de que puedan ser observados por ejemplo con un voltímetro, un amperímetro, un osciloscopio; o convertidos a información digital y analizados mediante una PC.

Una clasificación sintética de los tipos de transductores existentes podría ser:

#### **Transductores de fuerza – extensometría**

Utilizados para medir deformación y fuerza. Básicamente, se trata de galgas extensométricas (strain gage), ya sea resistivas o semiconductoras, en montajes adecuados al uso a que se destinan. Así, para medir deformación irán montadas sobre la pieza en cuestión (a la cual desea medirse la deformación elástica que sufre ante un esfuerzo dado). En cambio para medir fuerza, se acoplan a un elemento elástico por medio del cual la fuerza a medir realiza un trabajo que se traduce en una deformación.

El funcionamiento de las galgas resistivas se basa en el hecho de que al estirarse o contraerse un alambre (acompañando la deformación de la pieza) su sección disminuye o se incrementa, y por lo tanto su resistencia eléctrica varía. Entonces, midiendo esta variación de resistencia, podremos traducirla a términos de deformación lineal.

Por otra parte, en las galgas de semiconductor, ocurre algo similar con el cristal de silicio, el cual experimenta una variación en la concentración de portadores de carga al variar su sección. En este caso la respuesta no será lineal, y por lo tanto la ganancia de estos dispositivos es mayor que la de las galgas resistivas, si bien presentan el inconveniente de ser afectados por las variaciones de temperatura.

En la práctica, se utilizarán en general un conjunto de galgas, conectadas a modo de puente (por ejemplo en un puente de Wheatstone), para lograr mayor exactitud y sensibilidad.

También mencionamos otros tipos de transductores de fuerza que no están contruidos por galgas, como por ejemplo el LVDT (Linear Variable Differential Trasnformer), que es un transformador diferencial lineal con sus dos secundarios conector en oposición; y los transductores piezoeléctricos, que constan de un cristal de cuarzo con propiedades piezoeléctricas.

### **Transductores de proximidad**

Este nombre se aplica de modo genérico a cualquier dispositivo eléctrico, electromecánico o electrónico capaz de reaccionar de manera conocida y aprovechable ante la proximidad de un objeto ubicado dentro de un entorno definido del mismo.

Se debe remarcar que la mencionada reacción implica como se ha dicho, la simple proximidad del objeto, sin necesidad de contacto físico alguno. Quedan por lo tanto excluidos de esta clasificación todo tipo de dispositivo mecánico (límites de carrera, palpadores, posicionadores, etc.).

La reacción puede efectuarse por simple presencia del objeto (detección estática) o por movimiento del mismo dentro del campo de sensibilidad del detector (detección dinámica).

El mencionado campo de sensibilidad del detector es la zona del espacio dentro del cual el detector puede reaccionar ante el fenómeno y los materiales que correspondan. Este campo entonces, se define de distinta manera según el fenómeno de que se trate (campo magnético, radiación, etc.).

De esta manera existirán detectores de proximidad:

Inductivos

Sensibles a materiales ferromagnéticos

Sensibles a materiales ferromagnéticos con bobinas

Sensibles a materiales ferromagnéticos por efecto Hall

Sensibles a materiales ferromagnéticos con magnetorresistencias

Sensibles a materiales metálicos

Capacitivos

Por radiación

Por infrarrojos

Por radiación visible

Por microondas

Las posibilidades que la tecnología actual ofrece para la realización de detectores de proximidad son innumerables. Sin embargo, en la práctica sólo presentan interés aquellas que se complementan con la factibilidad de una explotación industrial competitiva y de aplicación concreta.

### **Transductores de presión**

El campo de aplicación de los transductores de presión es amplio y abarca desde valores muy bajos (vacío) hasta presiones de miles de  $\text{Nm/m}^2$ .

Los instrumentos de presión se clasifican en tres grupos: mecánicos, electromecánicos y electrónicos.

- Elementos mecánicos
  - Tubo Bourdon
  - Elemento en espiral
  - Diafragma
  - Fuelle

- Elementos electromecánicos
  - Transmisores eléctricos de equilibrio de fuerzas
    - Resistivos
    - Magnéticos
    - Capacitivos
    - Extensométricos
    - Piezoeléctricos

Como sus designaciones indican, puede verse que estos tipos de transductores se basan en combinaciones de elementos mecánicos con transductores que responden a principios funcionales vistos mas arriba, en el apartado dedicado a transductores de fuerza. Básicamente se trata de convertir la presión a medir en una fuerza, para aplicar las técnicas de medición descriptas para tal magnitud.

- Elementos electrónicos de vacío
 

Se emplean para la medida de alto vacío, son muy sensibles y se clasifican en:

  - Mecánicos (fuelle y diafragma)
  - Medidor McLeod
  - Térmicos (Termopar, pirani, Bimetal)
  - Ionización (Filamento caliente, Cátodo frío, Radiación)

### **Transductores de caudal de fluidos**

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en los laboratorios, es muy importante la medición de los caudales de líquidos y gases.

Se utilizan para tal fin aplicaciones prácticas de diversos procesos físicos, y es así que tenemos la siguiente clasificación:

Medidores volumétricos

- Placa orificio o diafragma
- Tobera
- Tubo Venturi
- Tubo Pitot
- Tubo Annubar
- Transmisor de fuelle
- Transmisor de diafragma
- Rotámetros
- Medidores de turbina
- Sondas ultrasónicas
- Medidor de placa
- Medidor magnético
- Medidores de desplazamiento positivo
- Medidores de disco
- Medidores de pistón

Medidores de caudal-masa

- Medidores térmicos de caudal
- Medidores de movimiento angular
- Medidores de par giroscópico

## Medidores de presión diferencial

Como vemos, la lista es extensa y abarca una gran variedad de principios funcionales. Está claro que estos principios se complementan con algún elemento similar a los vistos más arriba, tales como las galgas extensométricas, para traducir la señal obtenida a parámetros eléctricos. Citaremos a modo de ejemplo el transmisor de diafragma, el cual suele poseer un sensor difundido en su interior, el cual consiste en un elemento de silicio situado dentro de una cámara conteniendo silicona que está en contacto con el proceso a través de un diafragma flexible.

El sensor está fabricado a partir de un monocristal de silicio en cuyo seno se difunde boro, para formar varios puentes de Wheatstone constituyendo así una galga extensométrica autocontenida. Este puente se conecta a un circuito externo con amplificador y demás elementos para completar el sistema de medición.

## **Transductores de temperatura**

La medición de temperatura constituye una de las más importantes determinaciones en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medición quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesario.

Los transductores eléctricos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura, entre los cuales figuran:

- a) Variación de la resistencia de un conductor (sondas de resistencia)
- b) Variación de la resistencia de un semiconductor (termistores)
- c) F.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares)
- d) Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación)
- e) Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.)

## **Termómetros de resistencia**

Está constituido usualmente por un arrollamiento de hilo muy fino de un conductor bobinado, protegido por un revestimiento de vidrio o cerámica.

El material que constituye el conductor se caracteriza por el “coeficiente de temperatura” que expresa la variación unitaria de la resistencia del conductor, con respecto a la temperatura. La relación que existe entre estos factores se rige por la expresión:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha t)$$

$$\text{Por lo que} \quad [\alpha] = \frac{[\Omega]}{[^\circ\text{C}]}$$

En caso de que esta relación no sea lineal, la ecuación general es:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2 + \delta t^3 + \dots)$$

Las características que deben reunir los materiales utilizados se resumen en:

1. Alto coeficiente de temperatura, ya que de este modo el instrumento será muy sensible.
2. Alta resistividad, pues cuanto mayor sea la resistencia a una temperatura dada, tanto mayor será la variación por grado (mayor sensibilidad).
3. Relación resistencia-temperatura lineal.
4. Rigidez y ductilidad, para resistir los procesos de mecanizado y estirado en alambres finos. Cuanto más pequeña sea la sonda obtenida, su respuesta será más rápida, dado que su inercia térmica será menor.
5. Estabilidad de las características durante la vida útil del material.

El material más adecuado es el platino, seguido por el níquel y el cobre, de menor costo.

Las bobinas de resistencia están protegidas por un tubo o vaina de protección, adecuado al proceso al que van a ser destinadas (por ejemplo de acero inoxidable).

La variación de resistencia de la sonda es medida con un puente de Wheatstone, en una disposición que puede ser de dos, tres o cuatro hilos, según sean los conductores de conexión al puente (ver figuras 1 y 2).

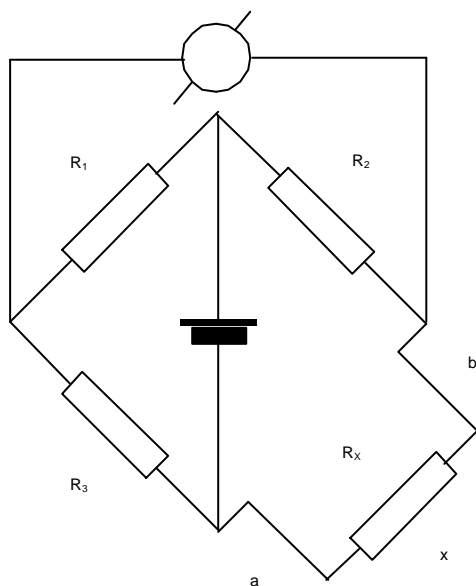
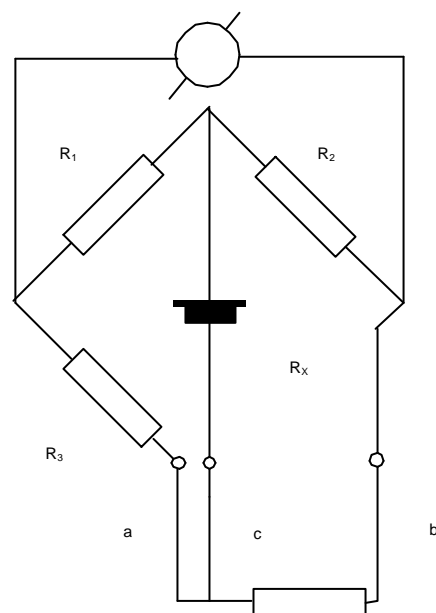


Figura 1: montaje de dos hilos. La sonda se conecta en uno de los brazos del puente. Presenta el inconveniente de que la resistencia de los conductores a y b de conexión varía cuando cambia la temperatura, lo que falsea la indicación de la misma.



**Cátedra:** Figura 2: montaje de tres hilos. Es el más usado en la práctica. La sonda está conectada mediante tres hilos al puente, y como se vé en el circuito, cualquier variación afectará por igual a dos ramas adyacentes, compensándose automáticamente si la resistencia de las

La conexión de cuatro hilos se utiliza para usos de laboratorio, en el caso de realizar calibración de patrones de resistencia. Con ella pueden eliminarse las posibles diferencias de resistencia en los hilos de conexión.

La medición de resistencia, y por lo tanto de la temperatura, se realiza con estas sondas conectadas a un equipo automático que incluye el puente de Wheatstone (habitualmente mediante un circuito de tres hilos). También suelen utilizarse puentes capacitivos.

### Termistores

Los termistores son semiconductores con un coeficiente de resistencia negativo de valor elevado.

La relación resistencia-temperatura viene dada por la expresión:

$$R_t = R_0 e^{\beta \left( \frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Donde  $\beta$  es constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas.

En intervalos amplios de temperatura, los termistores tienen características no lineales.

La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerable, siempre que el elemento posea una elevada resistencia comparada con la de los cables de unión.

### Termopares

Se basa en el efecto descubierto por Seebeck en el año 1821 de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes, cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura.

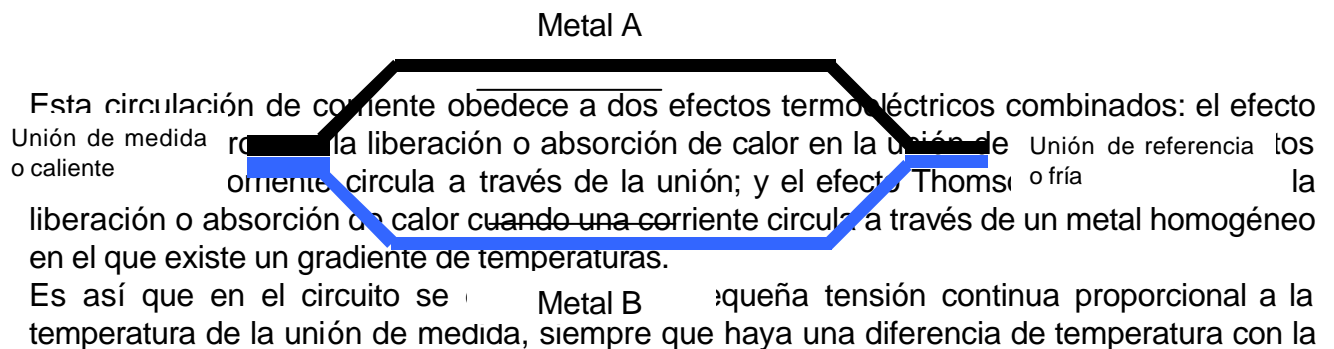


Figura 3: termopar

unión de referencia. Los valores de esta f.e.m. están tabulados en tablas de conversión, con la unión de referencia a 0°C.

## **2. REALIZACIÓN DEL TRABAJO EN LABORATORIO:**

### **PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:**

Se ensayarán algunos tipos de transductores disponibles en el Laboratorio.

#### **Galgas Extensométricas (Strain Gage)**

- ✓ Se realizará un ensayo con este tipo de galgas adosadas a un elemento elástico de modo de que funcionen como transductores de fuerza.

Particularmente, se utilizarán los siguientes elementos de uso industrial:

1 celda de carga T-M 30 Kg Mod. 4048

1 controlador por peso MOD. 3215-08 marca VESTA

Se ensayará con diferentes pesas para controlar la linealidad del dispositivo, trazando la curva correspondiente.

#### **Transductores de Temperatura**

- ✓ Sonda de resistencia: se dispone de una sonda de Temperatura a resistencia PT100. Se ensayará midiendo su resistencia con un óhmetro a temperatura ambiente y luego calentándola, para verificar la variación y controlar la indicación según tablas.

- ✓ Termistor: se realizará un ensayo similar para contrastar ambas indicaciones

#### **Transductores de Proximidad**

- ✓ Detector de proximidad inductivo: se ensayará un transductor de este tipo, mediante un circuito armado a tal fin.
- ✓ Detector de proximidad infrarrojo: ídem al anterior.

## **3. INFORME A CARGO DEL ALUMNO**

- Anotar los datos obtenidos en las mediciones, realizar las tablas y trazar las curvas indicadas.
- Anotar toda circunstancia no prevista en el presente informe

Trabajo Práctico original preparado por la Cátedra Instrumentos y Mediciones Eléctricas,  
versión 2001  
Elaboraron:

Ing. Jorge A. Sáenz  
Profesor A/C

Ing. Juan J. Salerno  
JTP

**Cátedra Instrumentos y Mediciones Eléctricas**  
4to año - Ingeniería Eléctrica - UTN-FRR



