

**Universidad de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Eléctrica**

**IE – 0502 Proyecto Eléctrico**

**Sensores analógicos utilizados en la  
Automatización Industrial**

**Por:**

**Pablo Antonio Chaves Campos**

**Ciudad Universitaria Rodrigo Facio**

**Diciembre del 2008**

# **Sensores analógicos utilizados en la Automatización Industrial**

**Por:**

**Pablo Antonio Chaves Campos**

Sometido a la Escuela de Ingeniería Eléctrica  
de la Facultad de Ingeniería  
de la Universidad de Costa Rica  
como requisito parcial para optar por el grado de:

**BACHILLER EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

Aprobado por el Tribunal:

---

Ing. Jorge Blanco Alfaro  
Profesor Guía

---

Ing. Rodolfo Espinoza Valverde  
Profesor lector

---

Ing. Jahaziel Acosta Guevara  
Profesor lector

## **DEDICATORIA**

A mis familiares y amigos, en especial a mi padre y madre por su apoyo incondicional en todos estos años.

## **RECONOCIMIENTOS**

A la Universidad de Costa Rica y a su personal docente por guiarme durante todos estos años en mi camino de aprendizaje.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>x</b>
<b>NOMENCLATURA.....</b>	<b>xi</b>
RESUMEN .....	xii
<b>CAPÍTULO 1: Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1      Objetivos.....	2
1.1.1    Objetivo general .....	2
1.1.2    Objetivos específicos .....	2
1.2      Metodología.....	3
<b>CAPÍTULO 2: Fundamentos teóricos y clasificación.....</b>	<b>4</b>
2.1      Fundamentos.....	4
2.1.1    Léxico de términos empleados en los sensores y/o transductores.....	4
2.1.2    Sensor y/o Transductor .....	7
2.1.3    Transductor analógico .....	9
2.2      Clasificación y funcionamiento de los sensores .....	13
2.2.1    Sensores de posición lineal o angular.....	13
2.2.2    Sensores de Pequeños desplazamientos o deformaciones .....	14
2.2.3    Sensores de velocidad.....	16
2.2.4    Sensores de fuerza .....	17
2.2.5    Sensores de nivel .....	20
2.2.6    Sensores de presión .....	22
2.2.7    Sensores de flujo y caudal .....	24
2.2.8    Sensores de temperatura .....	26
2.2.8.1   Resistencia Térmica.....	26
2.2.8.2   Bimetal .....	28
2.2.8.3   Termopar .....	30
2.2.9    Sensores de presencia o proximidad.....	32
2.2.9.1   Detectores de proximidad inductivos .....	33
2.2.9.2   Detectores de proximidad capacitivos.....	34
2.2.9.3   Detectores de proximidad ópticos .....	35
2.2.9.4   Detectores de proximidad ultrasónicos.....	36
<b>CAPÍTULO 3: Principales características de los sensores .....</b>	<b>37</b>
3.1      Sensores de posición lineal o angular.....	37

3.1.1	Características.....	38
3.1.2	Principales aplicaciones industriales .....	38
3.2	Transformadores diferenciales (LVDT) .....	39
3.2.1	Aplicaciones industriales más comunes .....	39
3.2.2	Principales características.....	40
3.2.3	Otras características importantes .....	40
3.2.4	Materiales más comunes utilizados en su fabricación.....	41
3.2.5	Marcas más comunes en el mercado. ....	41
3.2.6	Principales Ventajas .....	41
3.3	Galgas extensiométricas de resistencia variable.....	42
3.3.1	Aplicaciones industriales comunes.....	42
3.3.2	Principales características.....	42
3.3.3	Materiales más comunes utilizados en su fabricación.....	43
3.3.4	Marcas más comunes en el mercado. ....	43
3.4	Dinamo tacométricas .....	43
3.4.1	Características.....	44
3.5	Sensores de nivel capacitivos .....	44
3.5.1	Tipo invasivos .....	44
3.5.1.1	Características.....	45
3.5.1.2	Aplicaciones industriales comunes.....	46
3.5.2	Tipo no-invasivos .....	46
3.5.2.1	Aplicaciones industriales más comunes .....	47
3.5.2.2	Características.....	47
3.5.3	Materiales más comunes utilizados en la fabricación tanto para los no invasivos como para los invasivos.....	48
3.5.4	Principales ventajas .....	48
3.6	Sensores piezoeléctricos para medir presión. ....	49
3.6.1	Aplicaciones industriales más comunes .....	49
3.6.2	Características.....	50
3.6.3	Principales ventajas .....	50
3.7	Sensores para medir caudal .....	50
3.7.1	Tubo Venturi .....	50
3.7.1.1	Características.....	51
3.7.1.2	Materiales más comunes utilizados en su fabricación.....	52
3.7.1.3	Principales ventajas .....	52
3.7.2	Medidor de turbina .....	52
3.7.2.1	Aplicaciones industriales más comunes .....	53
3.7.2.2	Características.....	53
3.7.2.3	Materiales utilizado en su construcción.....	54
3.7.2.4	Principales ventajas .....	54

3.7.3	Medidor magnético.....	55
3.7.3.1	Características.....	55
3.7.3.2	Principales ventajas y desventajas.....	56
3.8	Sensores de presencia o proximidad.....	57
3.8.1	Sensores de presencia inductivos .....	57
3.8.1.1	Características.....	57
3.8.1.2	Aplicaciones industriales comunes.....	58
3.8.1.3	Ventajas y desventajas.....	58
3.8.2	Sensores de presencia capacitivos .....	59
3.8.2.1	Características.....	59
3.8.2.2	Aplicaciones industriales comunes.....	60
3.8.2.3	Ventajas y desventajas.....	61
3.8.4	Medidor ultrasónico.....	61
3.8.4.1	Características.....	61
3.8.4.2	Aplicaciones industriales comunes.....	63
3.8.4.3	Ventajas y desventajas.....	63
3.9	Sensores de temperatura .....	64
3.9.1	Termopares .....	64
3.9.1.1	Características de los termopares .....	64
3.9.1.2	Clasificación de los termopares.....	66
3.9.1.3	Aplicaciones industriales.....	67
3.9.1.4	Principales Ventajas y desventajas.....	67
3.9.2	Termo resistencias PT100 o RTD .....	67
3.9.2.1	Características de las PT100.....	68
3.9.2.2	Aplicaciones industriales más comunes .....	69
3.9.2.3	Principales Ventajas .....	69
3.9.3	Termistor .....	69
3.9.3.1	Resistencias NTC .....	70
3.9.3.1.1	Características de los NTC .....	70
3.9.3.2	Resistencias PTC.....	71
3.9.3.2.1	Características de los PTC.....	71
<b>CAPÍTULO 4: Conclusiones y recomendaciones .....</b>		<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>74</b>
<b>APÉNDICES .....</b>		<b>76</b>
Apéndice 1 .....		76
Efecto Peltier y el efecto Thompson.....		76
Apéndice 2.....		78
Norma IP (Índice de Protección).....		78

<b>ANEXOS .....</b>	<b>81</b>
ANEXO 1 .....	81
Curva de resistencia relativa.....	81
ANEXO 2 .....	81
Curva de calibración de un sensor.....	81
ANEXO 3 .....	82
Curva de calibración de un sensor con histéresis .....	82



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Componentes básicos de un sensor [10] .....	8
Figura N° 2 Esquema básico de un sensor analógico [9] .....	9
Figura N° 3 Esquema de un potenciómetro a) lineal y b) angular [11]. .....	13
Figura N° 4- Representaciones de un LVDT a) forma real y b) diagrama [8].....	14
Figura N° 5- Variación del voltaje de salida respecto a la posición del núcleo [8] .16	
Figura N° 6 Construcción básica de un tacodinamo [11] .....	17
Figura N° 7 Construcción básica de una galga extensiométrica [11] .....	18
Figura N° 8 Tipos de transductores piezoeléctricos [13].....	20
Figura N° 9 Manómetro líquido en forma de "U" [10] .....	23
Figura N° 10– Esquema de un tubo Bourdon [13].....	23
Figura N° 11– Medidor de turbina [13] .....	25
Figura N° 12– Estructura básica de una RTD [8] .....	27
Figura N° 13– Sensor de temperatura con película de aluminio [4] .....	28
Figura N° 14– Bimetal [12].....	29
Figura N° 15– Principio del termopar [11] .....	31
Figura N° 16– Principio físico del transductor inductivo [7].....	33
Figura N° 17– Forma más común del transductor inductivo [7] .....	34
Figura N° 18– Estructura básica del transductor capacitivo [7] .....	34
Figura N° 19– Principio físico del transductor capacitivo [7] .....	35
Figura N° 20– Principio del transductor ultrasónico [7] .....	37
Figura N° 21– Diferentes tipos de potenciómetros [8] .....	39
Figura N° 22– Varios tipos de LVDT [11] .....	41
Figura N° 23– Apariencia de las galgas de efecto piezoresistivo [9] .....	43
Figura N° 24– Dinamo tacométricas conectada a un motor [7] .....	43
Figura N° 25– Sensor capacitivo invasivo [10] .....	45
Figura N° 26– Sensor capacitivo no-invasivo [10] .....	46
Figura N° 27– Sensor capacitivo no-invasivo de nivel [10] .....	47
Figura N° 28– Sensores de presión, a) manométrica, b) diferencial [9] .....	49
Figura N° 29– Tubo Venturi [2].....	51
Figura N° 30– Medidor de turbina [6] .....	54
Figura N° 31– Medidor magnético [6].....	55
Figura N° 32– Presentaciones de los Termopares [8].....	65
Figura N° 33– Presentaciones de las PT100 [8].....	69
Figura N° 34– Presentaciones de los termisores [8] .....	70
Figura N° 35– Resistencia relativa de termistores y resistencias térmicas [1].....	81
Figura N° 36– Curva da calibración de un sensor [10] .....	81
Figura N° 37– Curva da calibración de un sensor que posee histéresis [10] .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 – Clasificación de los sensores .....	12
Tabla N° 2 – Características de los potenciómetros.....	38
Tabla N° 3 – Características más generales de un LVDT.....	40
Tabla N° 4 – Características más generales de una galga extensiométrica de efecto piezoresistivo .....	42
Tabla N° 5 – Características más generales de un dinamo tacométricas .....	44
Tabla N° 6 – Características más generales de un sensor de nivel capacitivo tipo invasivo	45
Tabla N° 7 – Características más generales de un sensor de nivel capacitivo tipo no- invasivo.....	47
Tabla N° 8 –Materiales comunes en la fabricación de sensores capacitivos .....	48
Tabla N° 9 – Características más generales de los sensores de efecto piezoeléctrico .....	50
Tabla N° 10 – Características más generales de los termopares .....	51
Tabla N° 11 – Características más generales del medidor de turbina.....	53
Tabla N° 12 – Características más generales de los termopares .....	65
Tabla N° 13 – clasificación y rangos de medición de los termopares más comunes [15]. ..	66
Tabla N° 14 – Principales características de una PT100.....	68
Tabla N° 15 – Principales características de una resistencia NTC .....	70
TablaN° 16- Nomenclatura primer dígito Norma IP .....	78
TablaN° 17- Nomenclatura segundo dígito norma IP .....	79

## NOMENCLATURA

LVDT: (Linear Variable Differential Transformer) Transformador diferencial variable lineal.

NTC: (Negative temperature coefficient) termo resistencia de coeficiente negativo

PTC: (Positive temperature coefficient) termo resistencia de coeficiente positivo

RTD: (Resistance Temperature Detector) Detector resistivo de temperatura

ISA: (Instrument Society of America) Sociedad de instrumentación Americana.

IEEE: (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos.

IEC: Comisión Electrotécnica Internacional.

## **RESUMEN**

El presente trabajo abarca el tema de los sensores utilizados en la automatización de la industria, limitándose a estudiar el conjunto de transductores de tipo analógico.

Para esto se realizó una descripción del principio de funcionamiento de los sensores más comunes en la industria.

Además se realizó una clasificación de los transductores tomando como criterio la señal de salida y la magnitud física que miden los instrumentos.

Luego se estudiaron los sensores de acuerdo a sus características, aplicaciones más comunes, y las ventajas se consideraron como las más significativas para cada sensor, así como una pequeña reseña de los campos de aplicación más comunes en la industria para cada tipo de sensor.

En el marco teórico se desarrollaron los principales fundamentos necesarios para entender los métodos empleados para transducir magnitudes físicas en parámetros útiles para su interpretación. Dicha parte del trabajo ejemplifica los métodos más comunes en la práctica, así como figuras ilustrativas para procurar un mejor entendimiento de la investigación.

## **CAPÍTULO 1: Introducción**

La Automatización Industrial, es un tema amplio y de suma trascendencia en el desarrollo e innovación de la industria en el país. En las últimas décadas se ha seguido la tendencia de automatizar de manera progresiva procesos productivos de todo tipo. Esto con el fin de mejorar la productividad de la empresa, las condiciones de trabajo del personal, la disponibilidad de los productos y simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo, entre otros.

Esta tendencia ha sido y sigue siendo posible gracias al constante desarrollo y eficiencia productiva de la tecnología empleada.

Es por esto que es necesario, que el personal ingenieril y técnico, encargados de los procesos de automatización, tengan los conocimientos requeridos, con el fin de garantizar la salvaguarda de las personas y la protección de los equipos en las industrias.

El presente trabajo consiste en un estudio acerca de los principales sensores de variables analógicas que se utilizan actualmente en la automatización industrial, esto porque los sensores son los elementos que proporcionan información crítica de un sistema de control, y se encargan de realizar la medición de los cambios que se den en el mismo, afectado por las interferencias ambientales y físicas.

Además, la importancia de identificar el concepto de sensor de manera correcta en un sistema de medida es ineludible, ya que el grado de confiabilidad de una medición aumenta cuando todos los factores que influyen en la medición se encuentran completamente definidos.

En la medida de lo posible, se tratará de abarcar el mayor número de instrumentos, que posean el mayor grado de aplicación a nivel nacional.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Llevar a cabo una investigación de los sensores de variables analógicas utilizados en la Industria, describiendo su funcionamiento y campos de aplicación.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Enunciar las principales variables analógicas involucradas en los procesos industriales.
- Describir sus principales características.
- Enumerar métodos de medición.
- Describir sus diferentes campos de aplicación.
- Analizar su interconexión con dispositivos de control.

## **1.2 Metodología**

Para el desarrollo del trabajo, se realizó una investigación exhaustiva del material bibliográfico disponible, textos, revistas, páginas web, entre otras, que permitieron desarrollar el tema de una manera clara y concisa. Además, a manera de complemento se efectuaron entrevistas a ingenieros y técnicos involucrados en la automatización, así como una visita a una industria donde se logró apreciar de manera clara la funcionalidad de estos instrumentos en los procesos industriales.

## CAPÍTULO 2: Fundamentos teóricos y clasificación

En este capítulo, se realizó un listado de algunos de los términos empleados en los sensores y/o transductores, además se clasificaron los sensores de acuerdo a la magnitud física que miden, y se mostró brevemente su funcionamiento y ciertas características importantes.

### 2.1 Fundamentos

#### 2.1.1 Léxico de términos empleados en los sensores y/o transductores.

**Transductor:** Un transductor es un dispositivo que convierte una señal de un tipo a otro, es decir convierte una magnitud en otra que resulte más apta para el análisis de un fenómeno físico. Los seis tipos de señales más usuales en el control industrial son: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares. El transductor por lo general suele convertir cualquier señal en una señal eléctrica, esto por el tipo de aplicaciones industriales que se les da. Un transductor ideal es aquel que para producir su señal de salida no atenúa la energía de la señal de entrada. En la práctica esto no se da, por lo que es importante que el transductor consuma la menor energía de la señal de entrada para que altere en lo menos posible el fenómeno físico estudiado.

**Atenuación:** reducción en amplitud de una variable o señal dada.

**Bimetal:** pieza formada por dos metales con distinto coeficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ ). Cuando se produce un cambio de temperatura, la pieza se deforma según un arco circular, cuyo radio es inversamente proporcional al incremento de temperatura.



**Calibración:** procedimiento utilizado para ajustar la salida del sensor sobre su rango completo de medida, tratando que este ajuste coincida al máximo con una serie de valores conocidos, los cuales son obtenidos de patrones de la magnitud a medir.

**Campo de medida:** espectro o conjunto de los valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento .

**Coefficiente térmico de resistividad:** se refiere a los cambios en la resistividad de una sustancia debidos únicamente a los efectos de la temperatura.

**Dispositivo de medida:** conjunto de todos los componentes con los que se realiza un método de medida, basado en un principio determinado, si el dispositivo consta de un solo componente, se denomina instrumento de medida.

**Efecto Piezoeléctrico:** el efecto piezoeléctrico, es un fenómeno físico que presentan algunos cristales debido al cual, aparece una diferencia de potencial eléctrico entre ciertas caras del cristal cuando éste se somete a una deformación mecánica.

**Error:** diferencia algebraica entre el valor indicado y el valor verdadero de la medida.

**Exactitud (accuracy):** es la cercanía de una indicación o lectura de un dispositivo de medición, al valor actual de la cantidad que esta siendo medida. Generalmente expresada en un porcentaje de la escala total de lectura.

**Extensometría:** método que tiene por objeto la medida de las deformaciones superficiales de los cuerpos.

**Factor de galga:** relación entre la variación relativa de longitud y variación de la resistencia correspondiente en una galga extensiométrica.

**Histéresis:** esta se refiere a la máxima diferencia que se da entre las señales de salida correspondientes a un mismo valor medido o de entrada.

**Influencia:** viene dada por las modificaciones de la magnitud de salida debidas exclusivamente a la desviación de la magnitud considerada respecto a su valor nominal, si todas las demás magnitudes variables mantienen sus valores nominales respectivos.

**Linealidad de amplitud:** habilidad del transductor para producir una señal de salida, que sea directamente proporcional a la amplitud de entrada.

**Magnitud de medida:** magnitud física, química o de cualquier otro tipo que se pretende medir.

**Mediciones analógicas:** se refiere a que se puede representar y registrar de forma continua cualquier valor de la magnitud de la medida, dentro del margen previsto.

**Offset o desviación de cero:** valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.

**Precisión:** propiedad que distingue la capacidad que tiene un instrumento de mediada, de brindar indicaciones muy aproximadas al valor verdadero de la magnitud medida.

**Rango:** es el dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.

**Repetitividad:** esta se refiere a la capacidad que posee un sensor de brindar los mismos valores de salida cuando se le aplica repetidamente el mismo valor de magnitud medida, bajo las mismas condiciones y en la misma dirección.

**Resolución:** se refiere al número de bits empleados para representar en un medio discreto una variable y nos indica el grado de precisión de la presentación.

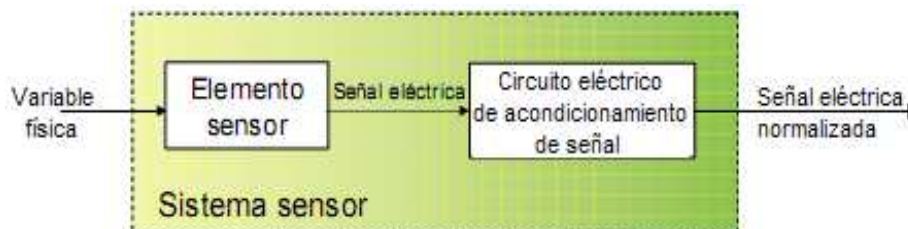
**Velocidad de respuesta:** tiempo de retardo de la señal de salida respecto a la de la entrada. El transductor debe de ser capaz de responder rápidamente a los cambios de la variable que se esta monitoreando o detectando; si la medición tiene una cinética mas lenta que la de la propia variable, tendremos que disponer de sistemas de predicción de este valor, si es que el proceso así lo requiere, y no depender solo del valor instrumental.

### 2.1.2 Sensor y/o Transductor

El sensor, en forma general se define como un dispositivo capaz de detectar diferentes tipos de materiales o sea recibe una señal o estímulo y responde a este con una señal eléctrica de salida.

El transductor se define como un dispositivo que transforma una variable física (fuerza, presión, temperatura, velocidad, etc.) en otra.

Con base en las dos definiciones anteriores y dado que en la práctica estos términos son comúnmente intercambiables o sea que se utilizan como sinónimos; para efectos de este trabajo, se estableció que un sensor se entiende como transductor en la medida que se tenga una variable a medir y se requiera de una señal eléctrica de salida. Además estos pueden ser de tipo invasivo, esto se refiere a que el sensor debe estar en contacto directo para detectar o transformar la variable física y de tipo no invasivo, esto es que el sensor puede detectar o transformar la variable física sin necesidad de estar en contacto directo.



**Figura N° 1 Componentes básicos de un sensor [10]**

En estos dispositivos es necesario utilizar circuitos de acondicionamiento, esto con el objetivo de que el instrumento genere una señal eléctrica normalizada, esto en el sentido que las señales eléctricas que se obtendrán serán magnitudes con un rango de valores establecidas (normados) por alguna organización internacional como lo es la IEC, IEEE, e ISA entre otras; Esto se da porque las señales de los instrumentos, en este caso de tipo analógicas, deben ser conectadas a algún controlador del proceso, como es el caso de los PLC y otros medios de control, los cuales tienen módulos especiales que convierten las señales analógicas a digitales (convertidores analógicos-digital) y estos se fabrican bajo

normas y estándares para aceptar cierto rango de corriente y voltaje a la entrada del convertidor en un rango normalizado de 4 a 20 mA o de 1 a 5Vdc.

En la industria existen principalmente seis tipos de señales físicas que requieren ser medidas: magnéticas, eléctricas, ópticas, mecánicas, térmicas y moleculares, y dado que en donde se mide no es conveniente extraer energía, se utiliza el transductor para amplificar la señal, esto con la ayuda de amplificadores electrónicos. Además en algunas aplicaciones es más conveniente la transmisión de señales eléctricas, dado que estas son más versátiles que una señal de tipo mecánica, hidráulica o neumática. Otra ventaja importante, es que existen muchos medios para almacenar, registrar, procesar y presentar la información electrónica.

### 2.1.3 Transductor analógico

Los transductores analógicos proporcionan una señal analógica continua, por ejemplo voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede ser tomada como el valor de la variable física que se mide.



**Figura N° 2 Esquema básico de un sensor analógico [9]**

El sensor analógico debe poseer ciertas propiedades indispensables como: calibración, rango de funcionamiento, confiabilidad, velocidad de respuesta, exactitud, precisión, sensibilidad, linealidad entre otros. Esto con el fin de que el control de la variable que se mida, se lleve a cabo de la mejor manera y en el menor tiempo posible.

#### **2.1.4 Clasificación de los sensores**

Los sensores pueden ser clasificados por diferentes criterios:

##### **2.1.4.1 Funcionamiento**

- a) Sensores de deflexión: en este tipo de sensores, la deformación de un material se emplea para medir una magnitud física.
- b) Sensores de comparación: como su nombre lo indica se basa en la comparación de fuerzas aplicadas, este funcionamiento se puede observar en las balanzas, donde el operario coloca un cuerpo de igual masa al que se mide, con el objetivo de encontrar un balance entre ambos pesos que permita mantener el equilibrio.

##### **2.1.4.2 Según su aporte de energía**

Se pueden dividir en moduladores (activos) y generadores (pasivos); los modulares se caracterizan por utilizar una fuente de energía auxiliar para alimentar la señal de salida, mientras que en los pasivos la energía de la señal de salida es suministrada por la entrada.

#### **2.1.4.3 Según el tipo de salida**

Esta clasificación se hace según el tipo de señal a ser medida, la cual puede ser analógica o digital.

#### **2.1.4.4 Según el orden**

También pueden ser clasificados según el orden: primero, segundo o de orden superior. Esta clasificación se hace según el número de elementos almacenadores de energía independientes que contenga el sensor.

#### **2.1.4.5 Según el tipo de variable física a medir**

La clasificación subdivide a los sensores de acuerdo a la magnitud física por medir, tal es el caso de caudal, temperatura, presión, nivel, entre otros.

Para este trabajo se realizó una clasificación, primero con el criterio de que la señal eléctrica generada es de tipo analógica y segundo, el tipo de de variable física medida, como se muestra en la tabla 1.

**Tabla N° 1 – Clasificación de los sensores**

Señal de salida	Magnitud Física	Transductor
Analógica	Posición lineal o angular	Potenciómetros
Analógica	Pequeños desplazamientos o deformaciones	Transformadores diferenciales (LVDT)
		Galgas extensiométricas
Analógica	Velocidad lineal o angular	Dinamos Tacométricas
Analógica	Aceleración	Acelerómetros
Analógica	Fuerza y Par	Medición indirecta (mediante galgas o transformadores diferenciales)
Analógica	Nivel	Capacitivos
Analógica	Presión	Membrana + detector de desplazamiento
		Piezoeléctricos
Analógica	Caudal	Presión diferencial (Diafragmas/tubos de Venturi )
		De Turbina
		Magnético
Analógica	Temperatura	Termopares
		Termo resistencias (PT100)
		Resistencias NTC
		Resistencias PTC
Analógica	Sensores de presencia o Proximidad	Inductivos
		Capacitivos
		Ultrasónicos



## 2.2 Clasificación y funcionamiento de los sensores

En este capítulo se describieron los principios físicos de funcionamiento de los diferentes sensores de acuerdo a la magnitud física medida.

### 2.2.1 Sensores de posición lineal o angular

Los transductores de posición se utilizan para determinar la posición de un objeto con respecto a un punto de referencia. Las posiciones pueden ser lineales o angulares.

Un transductor de posición como el mostrado en la figura 3- a) consiste en un potenciómetro conectado al objeto que se desplaza, el cual al moverse varía la resistencia del mismo y por lo tanto es posible calcular de manera electrónica el cambio de posición que es proporcional a el cambio de posición. Estos se conocen como transductores resistivos de desplazamiento, y pueden medir tanto movimiento lineal como rotacional.

Son relativamente económicos, el principal inconveniente en el empleo de potenciómetros es el desgaste que se produce en el elemento móvil.

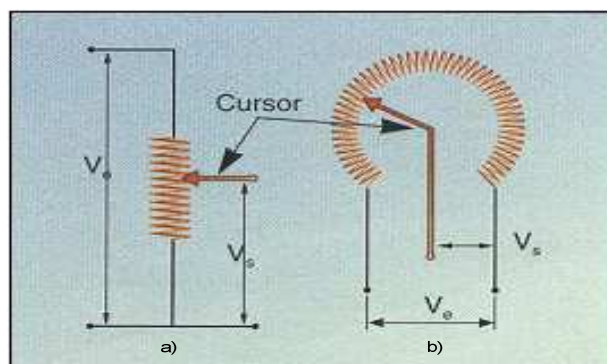


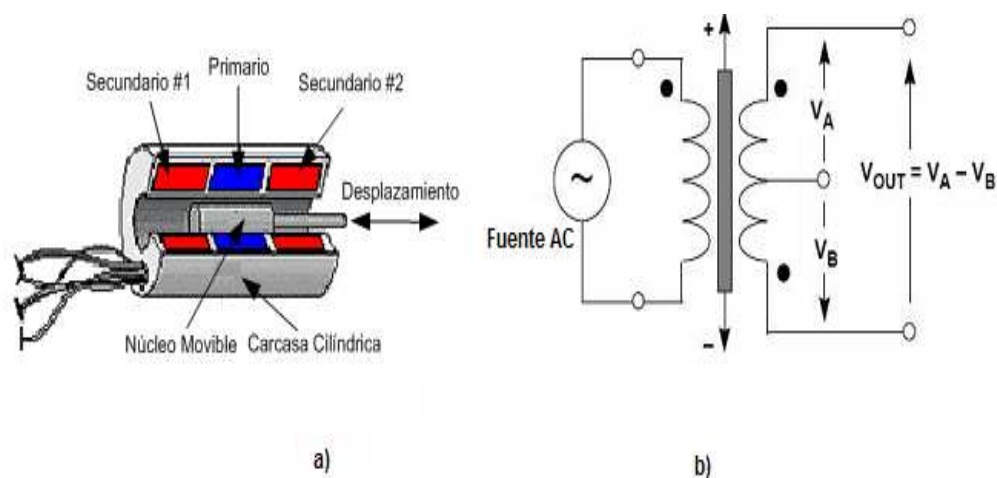
Figura N° 3 Esquema de un potenciómetro a) lineal y b) angular [11].

Los medidores de ángulos o transductores de desplazamiento angular son poco utilizados en los sistemas de control, fundamentalmente se utilizan cuando se desea medir la variación producida en el eje rotor de un sistema motor-reductor. Al igual que en los transductores lineales, podemos construir transductores angulares aprovechando el efecto resistivo (potenciómetros), inductivo y capacitivo.

### 2.2.2 Sensores de Pequeños desplazamientos o deformaciones

Los sensores de desplazamiento, son un tipo de sensores usados para medir longitud, los cuales tienen la precisión para medir desde unos cuantos micrómetros hasta unos metros.

Uno de los sensores de desplazamiento, ampliamente utilizado es el transformador diferencial de variación lineal (LVDT), el cual se observa en la figura 4.



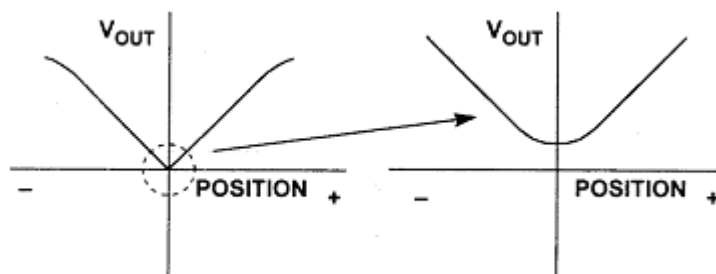
**Figura N° 4- Representaciones de un LVDT a) forma real y b) diagrama [8]**

De la figura 4-a) se observa que un LVDT es un dispositivo electromecánico que consiste de dos componentes: Un cuerpo hueco cilíndrico que contiene dos bobinados secundarios idénticos los cuales están posicionados en ambos lados del bobinado central primario y un núcleo de ferrita cilíndrico se mueve libre longitudinalmente dentro de la bobina.

Su funcionamiento físico se observa en la figura 4-b) y se da aplicando una señal alterna de excitación al bobinado del primario, genera un campo magnético que se acopla a los bobinados del secundario a través del núcleo de ferrita móvil, por esto se inducen voltajes en los secundarios.

Cuando el núcleo está centrado entre los dos secundarios, los voltajes inducidos en ambos secundarios son iguales y puesto que están conectados en serie en oposición, el voltaje final será cero. Si el núcleo se mueve en dirección del secundario 1, el voltaje incrementa, y el voltaje del secundario 2 decrece; de este modo el voltaje neto final  $V_1 - V_2$  y será de la misma polaridad que el de referencia. Si el núcleo se mueve en dirección opuesta,  $V_1 - V_2$  será de polaridad opuesta.

De este modo, como que el núcleo de ferrita se mueve a lo largo de su eje, dentro del LVDT, el voltaje de salida empieza con una polaridad, decrece completamente a cero, después incrementa con polaridad opuesta, todo de una manera continua y suave.



**Figura N° 5- Variación del voltaje de salida respecto a la posición del núcleo [8]**

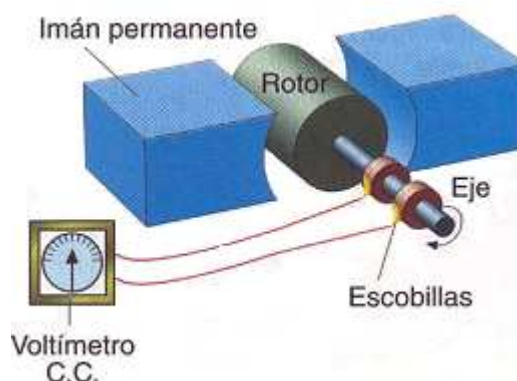
Las principales ventajas de este tipo de transductores son su sensibilidad y lo poco que son afectados por la humedad.

### **2.2.3 Sensores de velocidad**

La medición de velocidad angular tiene gran relevancia en las aplicaciones industriales. Esto se realiza mediante los tacómetros, que pueden ser mecánicos o eléctricos.

Tacómetros mecánicos: El más sencillo es el contador de revoluciones. Consiste en un tornillo sin fin que se acopla al eje cuya velocidad se quiere medir.

Tacómetros eléctricos: a) Dinamos Tacométricas (tacodinamo), estos proporcionan una señal de corriente continua. Están constituidos por un inductor que genera un campo magnético mediante imanes permanentes o electroimanes y un inducido o rotor ranurado sobre el que se bobinan unos devanados de hilo conductor. Suelen tener una sensibilidad entre 5 y 10 mV por cada r.p.m. y pueden medir velocidades de hasta 10000 r.p.m.



**Figura N° 6 Construcción básica de un tacodinamo [11]**

b) Alternadores tacométricos (taco alternador), estos proporcionan una señal alterna senoidal con frecuencia y amplitud proporcionales a la velocidad de rotación.

A diferencia de las dinamos tacométricas, el elemento que gira es el rotor formado por un imán permanente. Tiene la ventaja frente a la tacodinamo que no utiliza colector y escobillas, lo que le dota de mayor duración. Además tiene una sensibilidad comprendida entre los 2 y 10 mV por cada r.p.m. y permite la medida de mayores velocidades que los taco dinamos.

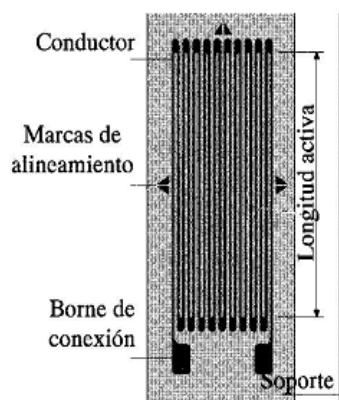
#### **2.2.4 Sensores de fuerza**

El método que tiene por objeto la medida de las deformaciones superficiales de los cuerpos, se denomina Extensometría.

Una fuerza/par se puede transducir principalmente de dos maneras; la primera es comparándola con otra conocida, por ejemplo en una balanza, y la segunda es aplicando la fuerza/par a un elemento elástico denominado célula de carga. En las células de carga eléctricas el efecto es una deformación que se medirá normalmente con galgas

extensiométricas, en el caso de de las hidráulicas y neumáticas, se tiene que el efecto es un aumento de la presión ya sea de un líquido o de un gas, según sea el caso.

Las galgas extensiométricas, es un procedimiento ampliamente utilizado para convertir las deformaciones en señales eléctricas proporcionales. Como se observa en la figura 7, estas se basan en la variación de longitud y de diámetro y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.



**Figura N° 7 Construcción básica de una galga extensiométrica [11]**

Existen varios tipos de galgas extensiométricas, dentro de las cuales se pueden mencionar:

- a) Galgas extensiométricas semiconductoras: el elemento sensible es una banda de cristal semiconductor con cierto grado de contaminación. Su salida no es lineal

con respecto a la deformación unitaria pero presentan histéresis y tienen una larga vida con respecto a la fatiga.

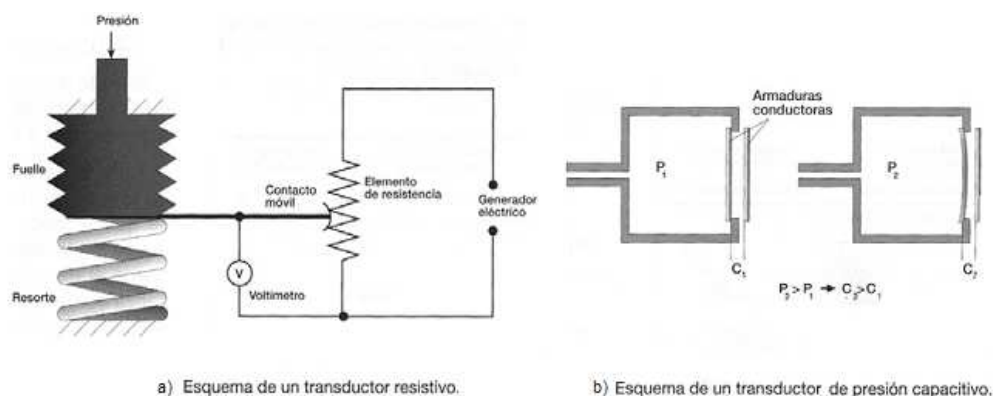
- b) Galgas extensiométricas de resistencia eléctrica: cuando se sujeta una longitud de cable dentro de su límite de tensión, ocasiona que se incremente la longitud, que se de un decremento del diámetro, y que cambie su resistencia eléctrica, entonces el material conductor es unido a un elemento elástico en condiciones de deformación, y es posible medir el cambio en la resistencia y con esto se puede calcular la fuerza. Para la fabricación de este tipo de galga se utilizan aleaciones de Nikel-Cromo, Cobre-Nikel, Platino-Tungsteno.

Además de las galgas extensiométricas, se pueden utilizar los transductores de efecto piezoeléctrico, los cuales tienen la característica de ser ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta.

Como se muestra en la figura 8, se presentan de dos tipos: resistivo y capacitivo. En los resistivos la presión desplaza un cursor a lo largo de una resistencia a modo de potenciómetro cuyo valor se modifica proporcionalmente a la presión aplicada. En los capacitivos se mide la presión por medio de un diafragma metálico que constituye una de las placas del condensador. Cualquier cambio de presión hace variar la separación entre el diafragma y la otra placa, modificándose la capacidad del condensador.

En los transductores piezoeléctrico, su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas, al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Tienen la desventaja de que su

señal de salida es bastante débil, por lo que se requiere colocarles amplificadores y acondicionadores de señal, además son muy sensibles a los cambios de temperatura.



**Figura N° 8 Tipos de transductores piezoeléctricos [13]**

En este tipo de transductores es típico encontrar el cuarzo y el titanato de bario, dado que le proporcionan la capacidad de soportar temperaturas del orden de  $150^{\circ}\text{C}$  en servicio continuo y de  $230^{\circ}\text{C}$  en servicio intermitente. Son buenos en casos extremadamente rápidos, como es el caso de impactos y golpes en prensas.

### 2.2.5 Sensores de nivel

A partir de la medida de nivel de un líquido en un tanque conociendo su geometría, dimensiones y densidad, puede determinarse el volumen y la masa. Algunos transductores eléctricos de nivel son:

Medidor de nivel de flotador magnético: este consiste en un flotador que se desliza a lo largo de un tubo guía colocado verticalmente en el interior del tanque, este flotador



posee un imán, en su movimiento, arrastra a otro más pequeño que esta dentro del tubo guía. El segundo imán está sujeto a un cable el cual mueve un índice en una escala exterior.

Medidor de nivel de tipo desplazamiento: presenta un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión unido rígidamente al tanque.

Medidor de presión diferencial: tiene un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo de un tanque, en un tanque abierto la presión hidrostática es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico.

$$P = H\gamma \quad (2.1)$$

$P$  = presión<sup>1</sup>

$H$  = altura<sup>1</sup>

$\gamma$  = peso específico del líquido<sup>1</sup>

Medidor de nivel conductivo: posee uno o varios electrodos y un relé electrónico que es excitado cuando el líquido moja dichos electrodos.

### 2.2.6 Sensores de presión

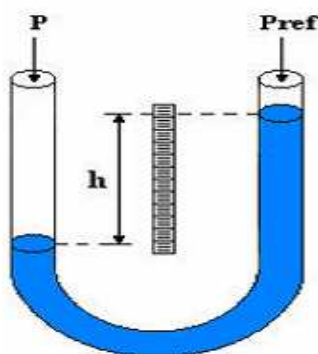
Esta medida es común en procesos que involucran gases y líquidos, los instrumentos de medición se clasifican en tres grupos: mecánicos, electromecánicos, y electrónicos.

Los más comunes son los mecánicos, estos a su vez se subdividen en dos métodos de medición:

- a) Por medio de la comparación con una presión conocida: la diferencia entre la presión que desea medirse ( $P$ ) y la presión de referencia provoca un desplazamiento del líquido contenido en el tubo, como se muestra en la figura 9. Siendo  $g$  la aceleración de la gravedad y  $\rho$  la densidad del líquido, el desnivel provocado ( $h$ ) es:

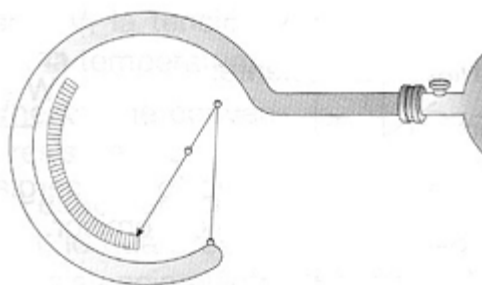
$$h = \frac{P - P_{ref}}{\rho \cdot g} \quad (2.2)$$

- b) b) Por efecto de la presión sobre un elemento elástico: al ejercer presión sobre un elemento elástico este se deforma, provocando un desplazamiento función de la presión ejercida medible mediante un sensor de pequeños desplazamientos.



**Figura N° 9 Manómetro líquido en forma de "U" [10]**

Una aplicación de este tipo es el diafragma, el cual es ampliamente utilizando, consiste en una membrana cuya deflexión en su parte central es dependiente de la presión ejercida sobre la misma. La sensibilidad del diafragma aumenta al aumentar su área y disminuye al aumentar espesor de la misma, un ejemplo de este tipo de transductor es el de tubo Bourdon que se muestra en la figura 10. Este es un tubo de sección elíptica, y curvado de manera que forma un anillo casi perfecto. Al aplicar presión al fluido contenido en su interior, el tubo tiende a enderezarse, transmitiéndose el movimiento de su extremo (por un sistema de engranaje) a una aguja que se desplaza por una escala graduada.



**Figura N° 10– Esquema de un tubo Bourdon [13]**

### 2.2.7 Sensores de flujo y caudal

Para medir el caudal, se puede realizar de varias formas según sea el tipo de fluido, de presión deseada, el control que se requiera y el tipo de caudal.

Se denomina flujo al movimiento de fluidos por canales o conductos abiertos o cerrados. El caudal es la cantidad de material, en peso o volumen, que fluye por unidad de tiempo.

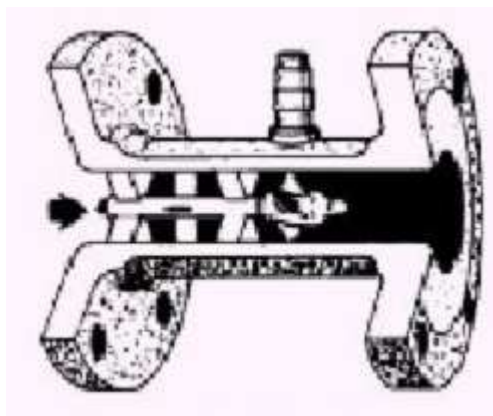
Los medidores volumétricos, son un gran grupo de sensores que realizan las mediciones con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido.

Dentro de los sensores más destacados de este tipo están:

- a) La placa-orificio o diafragma: este es un sistema que consta de una placa perforada, en donde se da una restricción de flujo de área constante, la presión va a depender del flujo que atraviesa la restricción. Utilizando un sensor de presión, se obtiene la presión diferencial la cual es proporcional a la raíz cuadrada del caudal. con esto se obtiene la medida del caudal.
- b) La tobera: esta se ubica en la tubería con dos tomas, presenta una toma anterior y una posterior, este sistema permite caudales 60 % mayores a los que permite la placa-orificio, cuando ambas están en el mismo servicio.
- c) El tubo pitot: este instrumento mide la presión dinámica, o sea mide la diferencia de la presión total y la estática. Es sensible a variaciones de velocidad en la sección trasversal del tubo, y se emplea generalmente para medir grandes caudales.

d) Medidor de turbina:

Los medidores de turbina consisten en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal.



**Figura N° 11–Medidor de turbina [13]**

La velocidad del fluido ejerce una fuerza de arrastre en el rotor; la diferencia de presiones debida al cambio de área entre el rotor y el cono posterior ejerce una fuerza igual y opuesta. De este modo el rotor está en equilibrio hidrodinámicamente y gira entre los conos anterior y posterior sin necesidad de utilizar rodamientos axiales evitando así un rozamiento que necesariamente se produciría.

- e) El tubo annubar: Este es la innovación del tubo pitot, el cual consta de un tubo que mide la presión total, este tubo esta dispuesto a lo largo de un diámetro transversal, presenta una serie de orificios, todos de diámetros iguales que captan el caudal, otro tubo en su interior se encarga de promediar las presiones

obtenidas. Posterior a se encuentra el tubo de presión estática con un orificio en el centro. se le conoce también con el nombre de tubo pitot de canal cerrado.

- f) El rotámetro: consiste en un medidor de caudal de área variable, en el cual un flotador cambia de posición dentro de un tubo, el cambio de posición es proporcional al flujo del fluido.

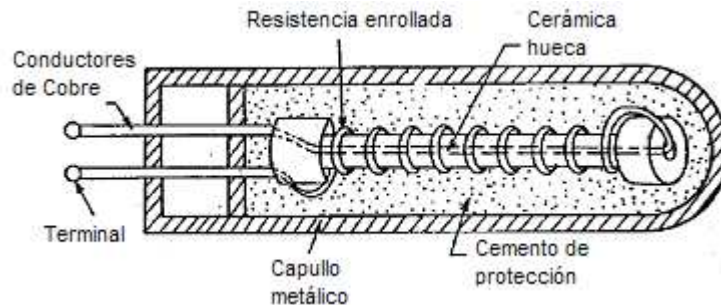
### **2.2.8 Sensores de temperatura**

La obtención de medias de temperatura, es de las más frecuentes y de mayor importancia en la automatización industrial, es por esto que se vuelve cada vez más importante tener una comprensión clara de las ventajas y desventajas de los distintos métodos de medida de esta variable, para lograr que sistema sea el óptimo.

Dentro de los sensores empleados para la medida de la temperatura, están los basados en resistencias térmicas, básicamente son un enrollamiento de hilo muy fino del conductor entre capas de material aislante, estos son colocados dentro de distintos encapsulados no conductores como el vidrio o la cerámica.

#### **2.2.8.1 Resistencia Térmica**

Lo constituyen las RTD (Resistance Temperature Detector) o PT100 basadas en la dependencia de la resistividad de un conductor con la temperatura, están caracterizadas por un coeficiente de resistividad positivo PTC (Positive Termal Coefficient). También lo son las NTC (Negative Termal Coefficient), que se llaman termistores y están caracterizadas por un coeficiente de temperatura negativo.



**Figura N° 12–Estructura básica de una RTD [8]**

El principio de funcionamiento es la variación su resistencia expresada en ohmios por cada grado que cambia la temperatura su temperatura. Esta relación se muestra en la siguiente expresión.

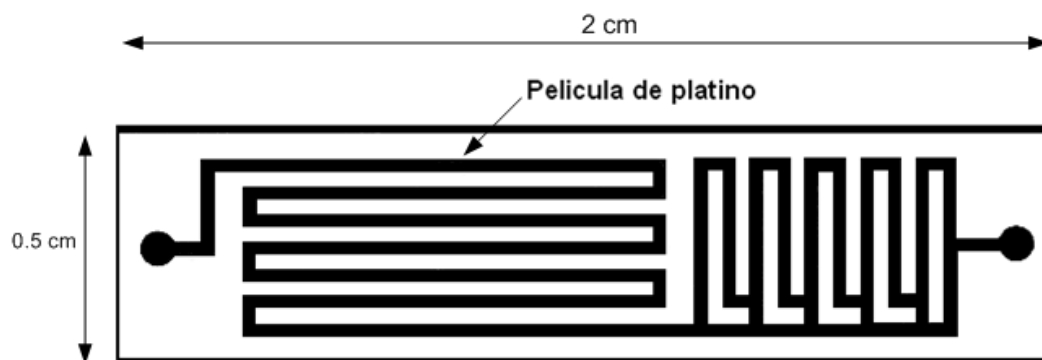
$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (2.3)$$

$R_0$  = resistencia en ohmios a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}^1$

$R_t$  = resistencia en ohmios a  $t\text{ }^{\circ}\text{C}^1$

$\alpha$  = coeficiente de temperatura de la resistencia<sup>1</sup>

Algunos metales utilizados son: cobre, platino y níquel. La figura 13, muestra el diagrama de uno de esos sensores basados en una película de platino. La resistencia normal varía entre unos cuantos ohms y kilohms, siendo  $100\Omega$  uno de los valores más comunes.



**Figura N° 13– Sensor de temperatura con película de aluminio [4]**

Su mayor ventaja es que son bastante estables y se pueden representar de forma lineal. Por otro lado su desventaja es su sensibilidad, ya que es muy corta, pues solo varía alrededor de  $0.4 \Omega/^{\circ}\text{C}$  de cambio en la temperatura para los compuestos de platino y  $0.7 \Omega/^{\circ}\text{C}$  para los basados en níquel.

#### **2.2.8.2 Bimetal**

Se tiene que algunos sensores de temperatura empleados en la automatización industrial, funcionan con base a una pieza formada por dos metales con distinto coeficiente de dilatación térmica, estos se encuentran fuertemente unidos, esta pieza comúnmente se conoce como Bimetal. La idea de unir y utilizar estos dos metales consiste en exponerlos a cambios de temperatura, de tal manera que los metales se expanden o contraen de manera que forman un arco uniforme. Midiendo el radio de la curvatura de este arco es posible determinar la temperatura. En la figura 14, se muestra la expansión o contracción cuando se pasa de una temperatura inicial  $T_1$  a una temperatura  $T_2$ . Lo común es que la unión

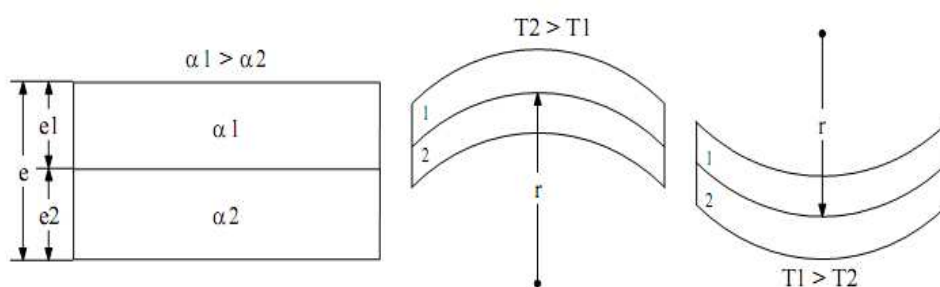


Bimetal emplee metales con similares módulos de elasticidad y espesor, de esta manera, el radio es definido por la siguiente relación:

$$r \approx \frac{2e}{3(\alpha_A - \alpha_B)(T_2 - T_1)} \quad (2.2)$$

Se puede apreciar entonces que la curvatura es inversamente proporcional al cambio de temperatura, de esta forma con un sensor de posición o de desplazamiento es posible medir el cambio de temperatura. Por lo general el grosor de las placas varía entre los 3 mm y 10  $\mu\text{m}$ . El ámbito de funcionamiento de estos dispositivos va desde  $-75^\circ\text{C}$  a  $540^\circ\text{C}$ .

No solo se emplean como laminas, también se les dispone en hélice, espiral y otras configuraciones y se les mide el desplazamiento o la fuerza.



**Figura N° 14– Bimetal [12]**

Otro tipo de sensor de temperatura son los termistores, estos son ampliamente utilizados, consisten en un pequeño semiconductor con forma de placas o discos.

En estos sensores los semiconductores electrónicos presentan un coeficiente de temperatura negativo de valor elevado y presentan una curva característica lineal

tensión-corriente, siempre y cuando la temperatura se mantenga en un valor constante. La relación entre resistencia y temperatura se expresa mediante la siguiente expresión.

$$R_t = R_0 e^{\beta \left( \frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (2.3)$$

$R_t$  = resistencia en ohmios a la temperatura absoluta<sup>1</sup>.

$R_0$  = resistencia en ohmios a la temperatura absoluta de referencia  $T_0$ <sup>1</sup>.

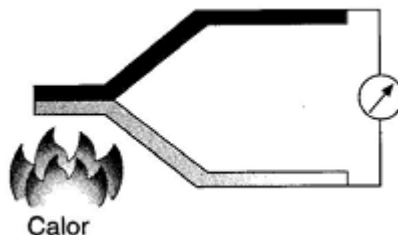
$\beta$  = constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas<sup>1</sup>.

Comúnmente están fabricados de mezclas de distintos óxidos metálicos de cobalto, níquel y manganeso y son por lo general encapsulados en vidrio. La relación entre la temperatura y la resistencia no es lineal.

Una de sus desventajas es el hecho de que sus ámbitos de funcionamientos no son muy amplios, generalmente van de -100°C a 200°C. En muchos casos este tipo de dispositivos son empleados en control de temperatura, donde se requiera de una rápida respuesta y su no linealidad no afecte la medición.

### 2.2.8.3 Termopar

El termopar o termocupla, este sensor se basa en el efecto de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes, cuyas uniones se mantienen a distinta temperatura (unidos en un extremo y abierto en el otro), producen un pequeño y único voltaje según la temperatura, como se ejemplifica en la figura 15.



**Figura N° 15– Principio del termopar [11]**

El fenómeno es debido a dos efectos: (Peltier y Thomson). El efecto Peltier provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando circula una corriente a través de la unión.

El efecto Thomson consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperatura.

La tensión que pasa por el extremo abierto es función de la temperatura de la unión de los metales utilizados. La unión del termopar nos proporciona una  $T_x$  (temperatura desconocida: ‘unión de medida’), en el extremo abierto se tiene  $T_{ref}$  (temperatura fija conocida: ‘unión de referencia’) y midiendo el valor de  $V$  por medio de un voltímetro, se puede calcular el valor de  $T_x$  mediante la ecuación:

$$V = T_x - T_{ref} \quad (2.4)$$

Dado que los voltajes que generan los diferentes tipos de termocuplas, están estudiadas y documentadas, es posible obtener tablas que asocian un voltaje determinado con una temperatura, por lo que en aplicaciones prácticas se utilizan tablas de calibración.

Las termopares se clasifican de acuerdo a si son metálicas o no, dentro de las metálicas se encuentran las de tipo E, J, K y T, se utilizan para temperaturas hasta de 1000°C, mientras los no metálicos como los tipos S, R, B se utilizan para temperaturas de hasta 2000°C.

Dentro de las ventajas de las termopares se pueden mencionar: su bajo costo, rápida respuesta a cambios de temperatura y que poseen un amplio rango para la medición de la temperatura.

Entre las desventajas, se puede mencionar su baja sensibilidad, generalmente en el rango de 6.5 a 80  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , además proporcionan voltajes bajos que pueden ser afectados por ruido y finalmente dado que este es un dispositivo que varía su comportamiento de acuerdo a su temperatura tiene rangos de operación no- lineales que pueden ocasionar problemas.

### **2.2.9 Sensores de presencia o proximidad**

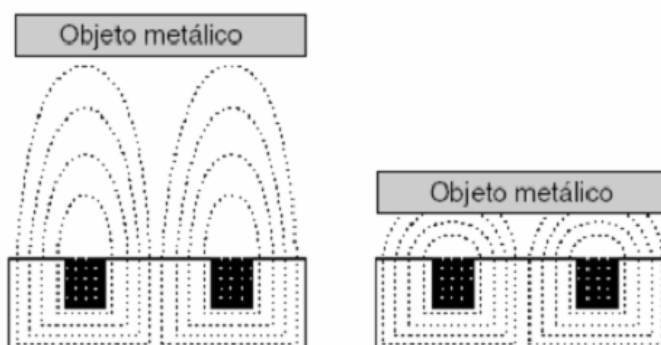
Se denominan así a cualquier dispositivo eléctrico, electromecánico o electrónico que reaccione de forma detectable ante un objeto situado en un entorno definido del mismo. El entorno de reacción define el campo de sensibilidad. Para que la reacción se produzca, sólo se precisa la proximidad física entre el objeto y el detector sin que haya ningún tipo de contacto mecánico entre ellos.

En función del sistema detector se clasifican en:

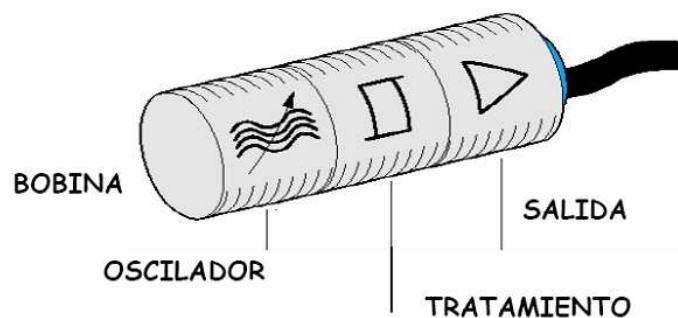
### 2.2.9.1 Detectores de proximidad inductivos

Son todos los dispositivos detectores de proximidad que utilizan un campo magnético (estacionario o variable) como fenómeno físico aprovechable para reaccionar frente al objeto que se quiere detectar. Su función depende del material ante el que es capaz de reaccionar.

En el caso de los sensores de proximidad inductivos, se tiene que un núcleo de ferrita con un bobinado oscilante genera por encima de la cara sensible (parte frontal del sensor) un campo magnético variable; en el momento que se introduce una pieza metálica en el campo magnético, se producen corrientes que influyen el oscilador, provocando una debilitación del circuito oscilante, por este motivo se da una disminución en la amplitud de las oscilaciones, las cuales son detectadas por un circuito que determina una señal de salida para esa medición.



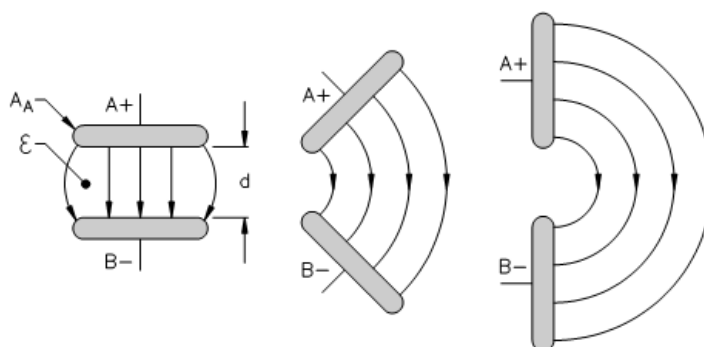
**Figura N° 16– Principio físico del transductor inductivo [7]**



**Figura N° 17–Forma más común del transductor inductivo [7]**

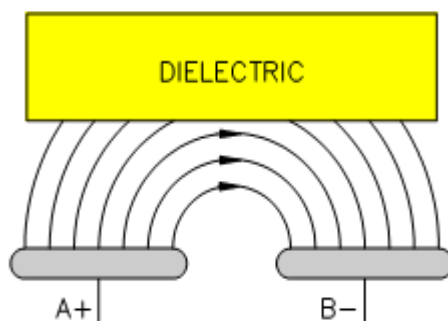
### 2.2.9.2 Detectores de proximidad capacitivos

La cara activa de un detector capacitivo está formada por dos electrodos metálicos, colocados concéntricamente. Las caras de los electrodos A y B, mostrados en la figura 18, forman un acoplamiento reactivo con un oscilador de alta frecuencia, regulado de tal manera que no provoca interferencias en caso de no detección.



**Figura N° 18– Estructura básica del transductor capacitivo [7]**

Si un objeto se aproxima a la cara activa del detector, se introduce en el campo eléctrico de los electrodos, provocando un aumento del acoplamiento capacitivo entre las placas A y B y el oscilador se activa.



**Figura N° 19– Principio físico del transductor capacitivo [7]**

Finalmente un amplificador analiza la amplitud de esta oscilación y la transforma en una señal definida.

### **2.2.9.3 Detectores de proximidad ópticos**

Los hay para distancias grandes y pequeñas, por eso a veces sólo se les denomina detectores ópticos.

También se les suele llamar fotocélulas. Utilizan medios ópticos y electrónicos para detectar objetos. Para ello utilizan un luz roja (visible) o infrarroja (invisible). Como fuente de luz se utilizan diodos o transistores emisores de luz.

Los detectores de luz roja se ajustan mejor que los de luz infrarroja. La luz infrarroja es menos susceptible a las interferencias producidas por la luz ambiental.

Estos detectores constan de un emisor y un receptor. La detección se realiza por reflexión, al devolver el objeto la luz recibida, o por barrera.

Pueden detectar cualquier tipo de objetos o productos: sólidos o líquidos.

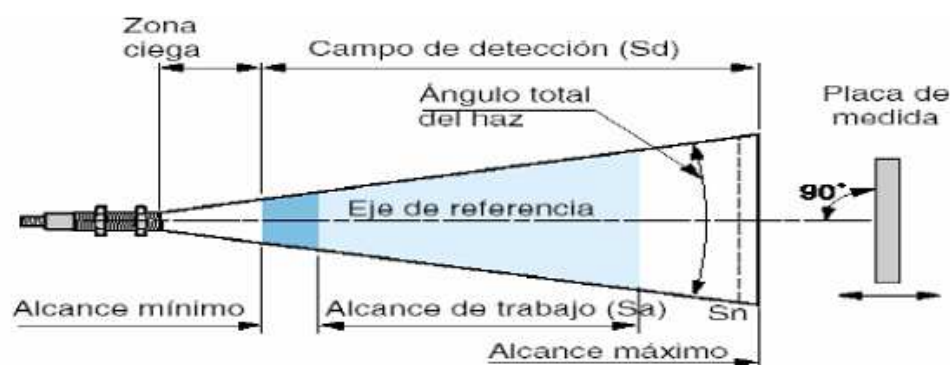
A su vez los sensores ópticos se dividen en: directos, en estos el receptor y el emisor están en el mismo cuerpo (reflex y reflexión directa). Los que presentan fibras ópticas acopladas, el receptor y emisor no están en el mismo cuerpo (barrera). En ambos casos la luz es modulada por infrarrojos y por tanto insensible a luces parásitas. La distancia de detección en el caso de los de reflexión puede variar según el calor y el grado de brillo de producto.

#### **2.2.9.4 Detectores de proximidad ultrasónicos**

El principio de funcionamiento de estos transductores es la detección por ultrasonido, miden el tiempo transcurrido entre la emisión de una onda ultrasónica y la recepción de su eco.

Este transductor genera y envía una onda, en el momento en que la onda se encuentra un objeto, esta rebota y se da una onda reflejada (eco), que vuelve hacia el transductor. Internamente en el instrumento, un micro controlador analiza la señal recibida y mide el intervalo de tiempo entre la señal enviada y la recibida.





**Figura N° 20– Principio del transductor ultrasónico [7]**

Alcance nominal  $S_n$ : es el valor convencional o más común para designar el alcance de la medida.

Zona ciega: en esta zona no puede detectarse ningún objeto de forma fiable.

## **CAPÍTULO 3: Principales características de los sensores**

En este capítulo se estudiaron las principales características de los transductores analógicos enunciados en la tabla 1, para ello se tomaron características de varios fabricantes para brindar una noción de lo que se puede encontrar realmente en el mercado.

### **3.1 Sensores de posición lineal o angular**

Los transductores lineales funcionan como divisores de tensión que modifican su relación en función del desplazamiento que experimenta su cursor. El desplazamiento que pueden alcanzar va de 10 a 300 mm con linealidades comprendidas entre  $\pm 0,05\%$  y  $\pm 1\%$ .

Para poder acondicionar la señal proveniente del transductor, se colocan módulos electrónicos externos que proporcionan señales 0 - 20mA y de 4 - 20mA.

Los potenciómetros angulares nos permiten medir el ángulo de desplazamiento de un cuerpo mediante una resistencia de valor variable según el posicionamiento, sobre la banda resistiva, de un cursor en contacto con el eje de giro del transductor. Principalmente podemos diferenciar entre transductores de una vuelta o multi-vuelta y dependiendo del modelo elegido podemos escoger rangos de medida que van desde los 180° hasta los 3.600° y señales de salida de 1- 4,7 - 5 - 10 kΩ 02 α 4 o mA.

### 3.1.1 Características

**Tabla N° 2 – Características de los potenciómetros**

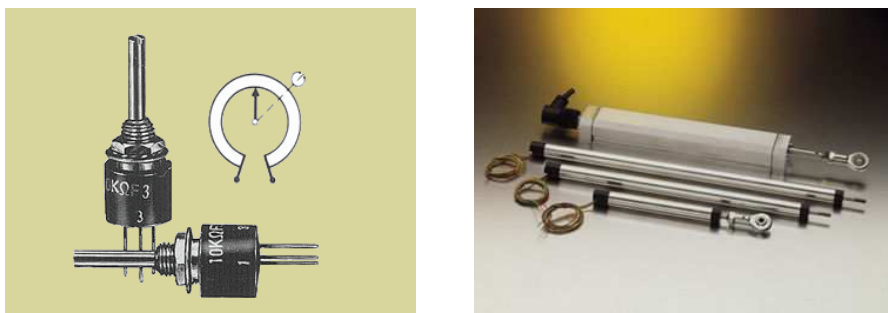
Linealidad	±1%
Potencia nominal	1W
Temperatura de funcionamiento	-65 °C a 125°C
Linealidad	No muy buena
Resolución	Se reduce debido a la resistencia de contacto

### 3.1.2 Principales aplicaciones industriales

Cuando la distancia que se va a medir no supera algunos metros, se utiliza un potenciómetro acoplado sobre un eje roscado, cuyo movimiento determina la posición del elemento móvil cuya posición se quiere medir.

Por lo general, los potenciómetros son poco utilizados, a pesar que presentan ciertas ventajas como la de ser de muy bajo costo.

Por otro lado son muy sensibles a la temperatura y se afectan fácilmente en ambientes húmedos o con mucho polvo y presentan desgaste por el contacto.



**Figura N° 21– Diferentes tipos de potenciómetros [8]**

### **3.2 Transformadores diferenciales (LVDT)**

Básicamente este dispositivo, es un transductor electromecánico capaz de convertir el movimiento rectilíneo que realiza un objeto al cual está mecánicamente unido, en una señal eléctrica recíproca.

#### **3.2.1 Aplicaciones industriales más comunes**

- Pueden utilizarse como medidor de presión.
- Pueden emplearse en instrumentos basados en flotadores como los rotámetros y detectores de nivel.

- Se pueden utilizar para medir el desplazamiento que se generan en las células de carga.

### 3.2.2 Principales características

A continuación se presentan las características más generales que podemos encontrar en este tipo de instrumentos:

**Tabla N° 3 – Características más generales de un LVDT**

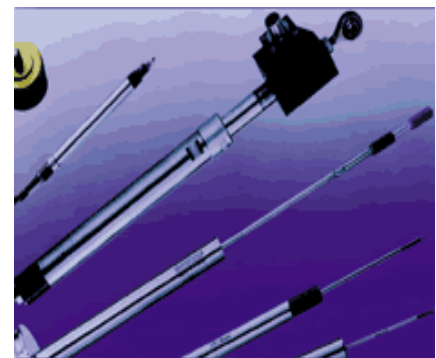
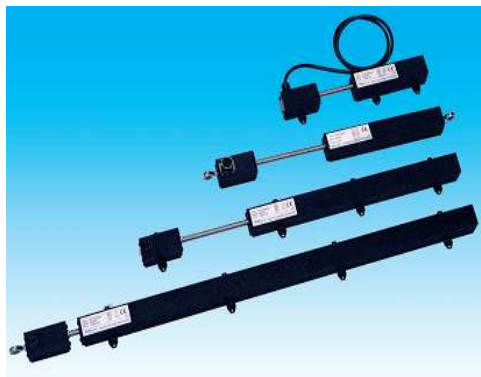
Alimentación	1-24 Vrms
Linealidad	$\pm 0,25\%$
Frecuencia optima	2KHz
Sensibilidad	0,1V/cm-40 mV/ $\mu\text{m}$
Resolución máxima	0,1 $\mu\text{m}$
Alcance de medida	$\pm 100\mu\text{m}$ a $\pm 25\text{cm}$
Repetitividad	Alta por su simetría
Exactitud	Muy buena
Robustez	Alta
Dimensiones	dependen de la marca
Resistencia a la Humedad	Alta

### 3.2.3 Otras características importantes

- Imponen poca carga mecánica.
- Son de contacto libre, es decir sin fricción.
- Resisten ambientes hostiles.
- Rápida respuesta dinámica.
- Es un dispositivo de salida absoluta o sea que en caso de perdida de alimentación los datos no se perderán.

### 3.2.4 Materiales más comunes utilizados en su fabricación.

Se tiene que en estos sensores, sus tres devanados (primario y los dos secundarios), se encuentran recubiertos con una sustancia impermeable para que de esta manera se puedan utilizar en lugares con humedad ambiental elevada. El núcleo es una aleación de hierro y níquel, y está laminado longitudinalmente para reducir las corrientes de Foucault.



**Figura N° 22– Varios tipos de LVDT [11]**

### 3.2.5 Marcas más comunes en el mercado.

AECO<sup>R</sup>, PEPPERL+FUCHS, DIELL, TRUCK, BERO, SIEMENS.

### 3.2.6 Principales Ventajas

- Extremadamente preciso
- Alta resolución
- Larga vida
- Excelente resistencia a ambientes difíciles como humedad y polvo.
- Fácil instalación.

### 3.3 Galgas extensiométricas de resistencia variable

Las galgas extensiométricas se fundamentan en el efecto piezoresistivo. Por lo que este tipo de dispositivo se basa en la variación de la resistencia de un conductor o un semiconductor cuando es sometido a un esfuerzo mecánico.

#### 3.3.1 Aplicaciones industriales comunes

- Son muy utilizadas para medir Fuerza y Par.
- Es utilizada en básculas electrónicas.
- Ampliamente utilizada para medir deformaciones.
- Utilizado en básculas de precisión.

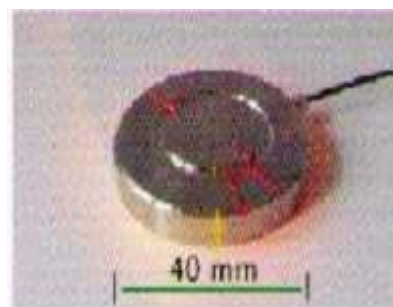
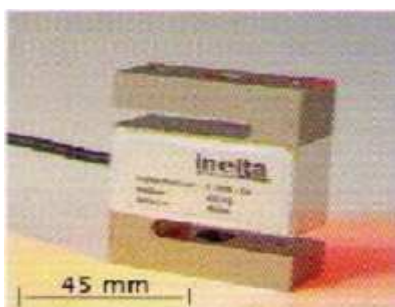
#### 3.3.2 Principales características

**Tabla N° 4 – Características más generales de una galga extensiométrica de efecto piezoresistivo**

Linealidad	Poseen amplio rango donde su respuesta es lineal
Respuesta en frecuencia	Buena respuesta a altas frecuencias
Calibración	La calibración es estable
Variable eléctrica que cambia	Resistencia
Reproducibilidad	Excelente
Rangos de medición	Rango de 5 N a 100 kN
Temperatura	-75 a 175° C, -269 A 230°C, otros.

### 3.3.3 Materiales más comunes utilizados en su fabricación

Con respecto a los materiales más usados para la manufactura de las galgas son las aleaciones de Cobre-Nikel, Nickel-Cromo, Nickel-Cromo-Molibdeno y Platino- Tungsteno.



**Figura N° 23– Apariencia de las galgas de efecto piezoresistivo [9]**

### 3.3.4 Marcas más comunes en el mercado.

STW, HBM, SMD, INELTA

## 3.4 Dinamo tacométricas

Es un dispositivo que mide la velocidad angular de un eje giratorio. Las unidades más comunes para expresar la velocidad angular son rotaciones por minuto (r/min) y radianes por segundo.



**Figura N° 24– Dinamo tacométricas conectada a un motor [7]**

### 3.4.1 Características

**Tabla N° 5 – Características más generales de un dinamo tacométricas**

Tensión de salida por cada 1000rpm	0.52 V
Máxima corriente recomendada	10mA
Tolerancia de la tensión de salida	$\pm 15\%$
Rango de temperaturas	-20°C a 65°C
Linealidad con carga resistiva de 10K $\Omega$	$\pm 0.7\%$
Error en inversión	$\pm 1\%$
Resistencia en los bornes	56.6 $\Omega$

El error de inversión se refiere a la diferencia de tensión cuando el motor y el dinamo giran en diferente sentido.

En la actualidad este dispositivo no se utiliza tanto como en años atrás, debido a que han sido suplantados por los encoders digitales.

## 3.5 Sensores de nivel capacitivos

Estos sensores son ampliamente utilizados en la industria, actualmente se les puede encontrar tanto para aplicaciones invasivas como para procesos rigurosos que requieran un censado no invasivo.

### 3.5.1 Tipo invasivos

Para este censado se requiere que el dispositivo se encuentre próximo al elemento que se desea ser medido, para el caso concreto del nivel en un tanque, este tipo de dispositivo, requieren que se realice pequeño agujero en el contenedor, de tal manera que el sensor entre en contacto con el material a medir. Actualmente la tecnología le permite a



estos sensores utilizar sellos en plástico, esto para que no haya ningún metal expuesto en cualquier parte en el sensor y que de esta manera se pueda realizar la medición de líquidos semiconductores, sin que se den problemas. Ciertas marcas de estos sensores, garantizan una correcta medición en ambientes explosivos y corrosivos.



**Figura N° 25– Sensor capacitivo invasivo [10]**

### **3.5.1.1 Características**

**Tabla N° 6 – Características más generales de un sensor de nivel capacitivo tipo invasivo**

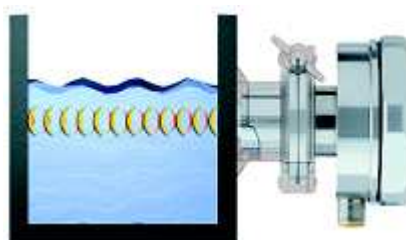
Voltaje nominal	8.2 Vdc
Cambio de corriente resultante	$\geq 2.2\text{mA}$ a $\leq 1.0\text{mA}$
Repetitividad	$\leq 2\%$ del rango de distancia fijada
Inmunidad a la radiación de campos electromagnéticos	10 m/V 80 a 1000MHz
Inmunidad a las descargas electrostáticas	4KV en contacto directo 8 KV aerotransportado

### 3.5.1.2 Aplicaciones industriales comunes

- Estos sensores son capaces de detectar el nivel de fluidos y de materiales granulados o polvorientos, como el caso de granos como el arroz y la soja.
- Control de nivel de líquidos tanto explosivos como no explosivos
- Inspección de recipientes con un determinado nivel de producto
- Detección de pequeñas partes metálicas

### 3.5.2 Tipo no-invasivos

Este tipo de sensores, son de uso frecuente en procesos alimenticios en donde los estándares de producción impiden que los sensores y otros instrumentos entren en contacto directo con el material, es por esto, que para este tipo de aplicaciones se empleen sensores ultrasónicos, los cuales realizan la medición a través de las paredes del contenedor.



**Figura N° 26– Sensor capacitivo no-invasivo [10]**

El principio de funcionamiento es el envío de ondas sonoras a través del tanque, por lo que el dispositivo mide el grado de eco que se produce cuando el tanque está en el nivel deseado.

Estos dispositivos tienen la capacidad de realizar medidas en tanques con un espesor de de 5.5 mm hasta os 10 mm.



**Figura N° 27– Sensor capacitivo no-invasivo de nivel [10]**

### **3.5.2.1 Aplicaciones industriales más comunes**

Se utilizan en procesos industriales con estrictos estándares de producción, como es el caso de la industria alimenticia, en la fabricación de productos altamente peligrosos o explosivos, en la producción de productos esterilizados de uso médico.

### **3.5.2.2 Características**

**Tabla N° 7 – Características más generales de un sensor de nivel capacitivo tipo no-invasivo**

Frecuencia	1 Hz
Temperatura de operación	-25 °C a +70°C
Retardo de encendido	1 a 10 segundos
Repetitividad	≤2% del rango de distancia fijada
Voltaje nominal	8.2 Vdc

### 3.5.3 Materiales más comunes utilizados en la fabricación tanto para los no invasivos como para los invasivos.

**Tabla N° 8 –Materiales comunes en la fabricación de sensores capacitivos**

Material	Recomendación
ABS(Acrylonitrile-butadiene-styrene)	Resistente a impactos, ácidos alcalinos, alcohol aceite
PA (Polyamide)	Resistencia a temperaturas elevadas
PBT (Polybutylene Terephthalate)	Resistente a la abrasión, a alcoholes, aceite.
PUR (Polyuretane)	Resistente a la abrasión, a impactos, aceite
PVC (Polyvinylchloride)	Resistente a ácidos, y esfuerzos mecánicos

### 3.5.4 Principales ventajas

Los sensores capacitivos de nivel poseen una extraordinaria versatilidad, ya que se pueden instalar con gran facilidad en todo tipo de tanques, además poseen un ajuste de sensibilidad para algunos procesos que lo requieran, ciertos modelos permiten que se les pueda adaptar un ajuste remoto, lo que es muy práctico cuando el instrumento se encuentra localizado en lugares poco accesibles.

Algunos fabricantes han mejorado la inmunidad al ruido en sus sensores capacitivos de nivel, ya que los procesos industriales están sujetos a interferencias de ruido, esto ocasiona efectos adversos en los elementos de medida, como mediciones inapropiadas o poco fiables

### 3.6 Sensores piezoeléctricos para medir presión.

Estos sensores como su nombre lo indica, se basan en el efecto piezoeléctrico para realizar la detección. Básicamente el efecto en estos sensores, es la aparición de una polarización eléctrica en un material al deformarse bajo la acción de un esfuerzo.

#### 3.6.1 Aplicaciones industriales más comunes

- Control de sistemas hidráulicos o neumáticos a través de un sistema de adquisición de datos.
- Sensores de presión manométrica, en donde se mide la presión respecto a la atmosférica, de modo que si la entrada de presión esta al aire, la salida de tensión será cero.
- Caso especial de presión diferencial, en donde el sensor tiene dos entradas de presión y la salida es proporcional a la diferencia de ambas.

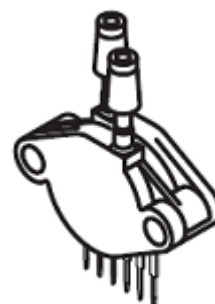


Figura N° 28– Sensores de presión, a) manométrica, b) diferencial [9]

### 3.6.2 Características

**Tabla N° 9 – Características más generales de los sensores de efecto piezoeléctrico**

Cambio de sensibilidad de 25 °C a 0°C 25°C a 50°C	±10 % en el corrimiento (Span)
Cambio de sensibilidad a 1 psi	±2.0 % de corrimiento
Cambio de sensibilidad a 100 psi	±1.5 % de corrimiento
Repetitividad	±0.20% de corrimiento
Histéresis	±0.20% de corrimiento
Tiempo de respuesta	1 ms
Alimentación	10 a 16 Vdc

### 3.6.3 Principales ventajas

Este tipo de sistema entrega una señal de salida proporcional a la presión muy lineal, de gran precisión, sensibilidad y exactitud. Además de una muy baja dependencia de la temperatura.

## 3.7 Sensores para medir caudal

### 3.7.1 Tubo Venturi

El Tubo Venturi es un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. En esencia, consta de una tubería corta recta, o garganta, entre dos tramos cónicos. La presión varía en la proximidad de la sección estrecha; así, al colocar un

manómetro ó instrumento registrador en la garganta se mide la caída de presión y hace posible calcular el caudal instantáneo.

En el mercado se encuentran opciones para ser instalados ya sea soldados, roscados o bridados, en el rango de  $\frac{1}{2}$ ´ a 72´.



**Figura N° 29– Tubo Venturi [2]**

### 3.7.1.1 Características

**Tabla N° 10 – Características más generales de los termopares**

Rango de medición	20 a 10000m <sup>3</sup> /h
Precisión	±2%
Temperatura de funcionamiento	0 a 80 °C
Perfil de acoplamiento	Norma ISA 1932
Exactitud	%0.75% Vm
Requerimientos	No se ve afectado por partículas sólidas o burbujas
Costo	Elevado

### **3.7.1.2 Materiales más comunes utilizados en su fabricación**

El tubo Venturi se fabrica con materiales diversos según la aplicación de destino, el material más empleado es acero al carbono, también se utiliza el latón, bronce, acero inoxidable, cemento, y revestimientos de elastómeros para paliar los efectos de la corrosión.

### **3.7.1.3 Principales ventajas**

- Menor pérdida de carga permanente, que la producida por el diafragma y la tobera de flujo, gracias a los conos de entrada y salida.
- Medición de caudales superiores a un 60% a los obtenidos por el diafragma para la misma presión diferencial e igual diámetro de tubería.
- El Venturi requiere un tramo recto de entrada más corto que otros elementos primarios.
- Facilidad para la medición de flujo de líquidos con sólidos en suspensión.

### **3.7.2 Medidor de turbina**

El medidor de caudal tipo turbina, presenta un dispositivo conformado por bobinas que generan un campo electromagnético en un sector de del dispositivo, en el interior se tiene una turbina, la cual al ser atravesada por el fluido la hace girar y a su vez corta el campo magnético generado por el dispositivo, esta interrupción es interpretada por un circuito y de esta manera se efectúa la medición del caudal.



Se considera que estos dispositivos deben emplearse solo cuando se trabaje líquidos limpios o sea que no transportes materiales que puedan dañar la turbina interna.

### 3.7.2.1 Aplicaciones industriales más comunes

En la industria es ideal para condiciones de alta temperatura y presión, incluyendo gases, de los cuales se pueden mencionar metano, gas natural, CO<sub>2</sub>, los criogénicos hidrogeno, oxigeno, nitrógeno, otros como la gasolina, alcohol y otros muchos derivados dependiendo del fabricante. Además se utiliza para el control de caudal.

### 3.7.2.2 Características

**Tabla N° 11 – Características más generales del medidor de turbina**

Voltaje de salida	1-5 V ó 1-10V
Corriente de salida	4 a 20 mA
Temperatura de funcionamiento	-260 a 537 °C
Perfil de acoplamiento	Norma ISA 1932
Operación de alta presión	2,500-lb.ANSI
Precisión	±5%
Tiempo de respuesta	10ms
Capacidad de operación típica	3 a 56.7 m <sup>3</sup> /h
Perdida de presión a operación continua máxima	0.3 bar a 30 m <sup>3</sup> /h
Temperatura normalizada	-50°C a +130°C
Señal de salida	5 mV para caudal mínimo hasta 500mV para caudal máximo
Estándar	Cuerpo EN1.4404 Hélice EN 1.4416

### 3.7.2.3 Materiales utilizado en su construcción

Carcasa	Bronce o Fierro fundido
Cono de dirección	Termoplástico
Rotor	Termoplástico
Cojinetes radiales del Rotor	Termoplástico lubricado
Ejes	Acero inoxidable
Cubierta	Termoplástico



**Figura N° 30– Medidor de turbina [6]**

### 3.7.2.4 Principales ventajas

Los medidores de turbina están diseñados y fabricados para proveer servicio a largo plazo con un mínimo de mantenimiento.

Los medidores de turbina son más pequeños y más ligeros, y son preferidos para fluidos de baja viscosidad.

### 3.7.3 Medidor magnético

Este dispositivo emplea el principio del electromagnetismo, esto es cuando un conductor se mueve a través de un campo magnético se genera una fuerza electromotriz en el conductor, siendo su magnitud directamente proporcional a la velocidad media del conductor en movimiento.



**Figura N° 31– Medidor magnético [6]**

#### 3.7.3.1 Características

Este instrumento se puede dividir en dos secciones

- El Tubo de caudal

Se compone del propio tubo, el cual se encuentra recubierto de un material no conductor, además cuenta con las bobinas generadoras del campo magnético y de los electrodos, los cuales detectan el voltaje inducido en el fluido.

- El Transmisor

Este alimenta eléctricamente a las bobinas con corriente alterna.

Convierte la señal de mV a la señal adecuada para los equipos de indicación y de control.

### **3.7.3.2 Principales ventajas y desventajas**

- Dentro de las principales ventajas están:

No se dan obstrucciones en el flujo, por esto son ampliamente utilizados para medir suspensiones, barros y melazas.

No dan lugar a pérdidas de carga, por lo que son adecuados para su instalación en grandes tuberías de suministro de agua, donde es esencial que la pérdida de carga sea pequeña.

Se fabrican en una gama de tamaños superior a la de cualquier otro tipo de medidor.

No son prácticamente afectados por variaciones en la densidad, viscosidad, presión, temperatura y, dentro de ciertos límites, conductividad eléctrica.

No son seriamente afectados por perturbaciones del flujo aguas arriba del medidor.

La señal de salida es, habitualmente, lineal.

Pueden utilizarse para la medida del caudal en cualquiera de las dos direcciones.

- Entre las principales desventajas están:

El líquido cuyo caudal se mide tiene que tener una razonable conductividad eléctrica. Para los fines industriales el límite práctico es del orden de  $10 \Omega/\text{cm}$ . Esto significa que los líquidos acuosos pueden manejarse adecuadamente, lo que no ocurre con los líquidos orgánicos.

La energía disipada por las bobinas da lugar al calentamiento local del tubo del medidor.

Al igual que otras formas de medida, este instrumento requiere un tramo recto inmediatamente antes del punto donde se realiza la medida para cierta exactitud en la medida, aunque una longitud igual a cinco veces del diámetro puede ser suficiente.

## **3.8 Sensores de presencia o proximidad**

### **3.8.1 Sensores de presencia inductivos**

#### **3.8.1.1 Características**

Físicas: Estos sensores pueden ser de tipo de tubo roscado o de cuerpo rectangular, de montaje blindado, no están concebidos para la intemperie y sus dimensiones son variadas. Estos sensores son aplicables para mediciones donde se desee detectar desplazamiento sin que exista contacto o desgaste del dispositivo. Comercialmente, el rango de temperatura ambiente admisible para su correcto funcionamiento se encuentra desde  $-10^{\circ}\text{C}$  hasta  $70^{\circ}\text{C}$ .

Su rango de medida depende del modelo de cada fabricante, comercialmente se les encuentra en rangos de 2-4mm, 1-5mm, 3-8mm, 4-11mm.

Eléctricas: Son aparatos alimentados por corriente continua, el rango puede variar entre 15 y 30 VCC, su salida es analógica y es proporcional a la distancia, en un rango de 0-10VCC y/o de 0 a 20mA.

### **3.8.1.2 Aplicaciones industriales comunes**

Son ampliamente utilizados en la detección del émbolo en un cilindro neumático o hidráulico, además se les encuentra ubicados en transportadores metálicos de piezas en una cinta, en un árbol de levas, para la medición de la velocidad y para detectar el sentido de rotación.

### **3.8.1.3 Ventajas y desventajas**

- Dentro de las principales ventajas están:

Presentan una muy buena adaptación a entornos industriales.

Detectan sin ninguna necesidad de contacto físico con el objeto.

Son sensores para la detección exclusiva de objetos metálicos.

Consideración de datos de corta duración.

- Desventajas de la utilización de sensores de proximidad inductivos:

Solo se pueden utilizar para la detección de objetos metálicos, lo que imposibilita totalmente utilizarlos para la detección en otro tipo de material no metálico.

Su alcance se puede considerar bastante débil, su rango de detección alcanza apenas los 40 mm. Esto limita mucho a la hora de instalar el dispositivo, ya que puede haber lugares donde no se posea el espacio suficiente para ubicarlo o cumplir la distancia mínima requerida para realizar la edición.

### **3.8.2 Sensores de presencia capacitivos**

#### **3.8.2.1 Características**

Físicas: Pueden ser de cuerpo cilíndrico roscado, cuerpo cilíndrico plástico, cuerpo rectangular metálico, cuerpo rectangular plástico. Se aplican para detectar sin contacto en materiales tanto conductores como no conductores. Pueden operar en un rango de temperatura de  $-25^{\circ}\text{C}$  hasta  $+70^{\circ}\text{C}$ , por lo general presentan un led de color rojo de manera que se pueda visualizar localmente la detección. Están concebidos para conectarlos a amplificadores–relés externos que transforman el cambio de corriente en una señal de salida binaria. Su alcance nominal depende del modelo de cada fabricante, los más generales vienen para 20mm, 10 mm, 5mm.

Los sensores capacitivos pueden ser blindados y no blindados, la diferencia radica en que los blindados son más adecuados para detectar materiales con baja constante dieléctrica, poseen el inconveniente de ser susceptibles a disparos en falso provocados por

la acumulación de suciedad y humedad en la superficie de medición, por otro lado los no blindados son más adecuados para discriminar entre materiales con baja y alta constante dieléctrica, además se tiene que los sensores capacitivos no blindados poseen un rango de medición más elevada que los blindados, otro dato importante es que los sensores no blindados se encuentran dotados de una sonda de compensación que les permite ignorar el agua pulverizada, polvo, un poco de suciedad, aceite pulverizado o vapor de agua condensado en el sensor, esto hace que la mejor elección para ambiente polvorientos y húmedos sean los sensores capacitivos no blindados.

Eléctricas: Son aparatos alimentados por corriente continua y algunos funcionan con CA, el rango puede variar entre 15 - 65 VCC y de 20-250VCA, su salida es analógica y es proporcional a la distancia, en un rango de e 4 a 20mA.

### **3.8.2.2 Aplicaciones industriales comunes**

- Detección de objetos aislantes y conductores.
- Se detecta la masa del objeto.
- El objeto censado puede ser solido o liquido.
- El alcance del censado depende de la constante dieléctrica del material.
- Detección de materiales no metálicos como vidrio, cerámica, plástico, madera, aceite, agua, cartón, papel.
- Son adecuados para la detección de materiales harinosos.



### **3.8.2.3 Ventajas y desventajas**

- **Ventajas:**

Detectan sin contacto físico cualquier objeto, donde su salida es proporcional a la distancia de medición.

Muy buena adaptación a entornos industriales, inclusive donde se trabaje con productos harinosos y en ambientes húmedos.

- **Desventajas:**

Su alcance es débil en comparación con otros tipos de sensores.

Su detección depende de la masa del objeto.

### **3.8.4 Medidor ultrasónico**

Este transductor se basa en el principio de detección por ultrasonido, básicamente lo que hace es medir el tiempo transcurrido, entre la emisión de una onda ultrasónica y la recepción de su eco.

#### **3.8.4.1 Características**

Físicas: Cuerpo cilíndrico metálico, cuerpo rectangular plástico, Su aplicación se orienta para la detección sin contacto de objetos que reflejan las ondas sonoras. Algunos logran detectar independientemente del tipo de materiales: sólidos, líquidos o granulados, o del color de los objetos. Dado que en las industrias normalmente se presenta cierta cantidad de ruido, este tipo de sensor esta desarrollado de tal manera que los sonidos

extraños no tengan efecto sobre la medición realizada, esto lo realizan mediante un circuito de protección contra los parásitos, algunos fabricantes tienen sistemas de este tipo patentizados. Otro aspecto muy importante, que se debe tener en cuenta a al ahora de seleccionar un sensor de tipo ultrasónico, son las corrientes de aire, pues una deformación de la oscilación de las ondas, no permite el tratamiento correcto del eco.

Además se ha de considerar la temperatura de los objetos, ya que este parámetro influye en el alcance de este tipo de sensores. Las superficies calientes no reflejan tan eficientemente el sonido como las superficies frías. La temperatura admisible es de 0 a 70°C.

Con respecto a las superficie de líquidos, las facultades ultrasónicas de reflexión de estas son similares a las de los sólidos, únicamente se debe tener muy presente la orientación exacta del detector con respecto a la superficie.

Estos transductores generan una onda ultrasónica pulsada entre 200 y 500Kz, dependiendo del material a detectar, esta señal se desplaza en el aire a la velocidad del sonido.

Se pueden alimentar con un rango de voltaje que puede ser desde 15 VCC hasta 30 VCC, su salida de voltaje esta en el rango de 0V a10V.

### 3.8.4.2 Aplicaciones industriales comunes

- **Los Blancos transparentes**

Los sensores ultrasónicos son la mejor opción para los blancos transparentes.

Ellos pueden descubrir una hoja de película de plástico transparente tan fácilmente como una paleta de madera.

- **Los Ambientes polvorientos**

Los sensores ultrasónicos no necesitan el ambiente limpio, necesitado por los sensores fotoeléctricos. El transductor piezoeléctrico sellado de resina opera bien en muchas aplicaciones polvorientas.

- **Los blancos Desiguales**

Muchas aplicaciones, como el descubrimiento de nivelado inclinado o los materiales desiguales. Éste no es ningún problema para el sensor ultrasónico. Este sensor ofrece 60° de ángulo de cono sónico. El ángulo del cono ancho permite una inclinación designada de  $\pm 15^\circ$ .

### 3.8.4.3 Ventajas y desventajas

- **Ventajas:**

La detección se lleva a cabo sin ningún contacto físico

Permite la posibilidad de detectar materiales frágiles e inclusive con pintura fresca

Son muy adaptables a entornos industriales.

Presentan una versatilidad excepcional dado que detectan el objeto indistintamente del color y al mismo alcance.

- Desventajas:

Puede que algunos de este tipo de instrumento presentes falsas alarmas.

Otro problema que a menudo se presentan en los sensores ultrasónicos es su zona ciega.

### **3.9 Sensores de temperatura**

#### **3.9.1 Termopares**

Este sensor consiste en la unión de dos materiales, los cuales se encuentran unidos en un extremo y producen un pequeño y único voltaje según la temperatura.

##### **3.9.1.1 Características de los termopares**

En el mercado existen diferentes tipos de termopares, los cuales se distinguen uno de otro debido a los metales con los que se fabrican sus conductores.

Las especificaciones más comunes que se encuentran para el caso de los termopares están:

**Tabla N° 12 – Características más generales de los termopares**

Robustez	Buena
Tiempo de respuesta	Muy rápido debido a su tamaño
Alimentación	AC y DC
Voltaje de salida	En el orden de mV
Distancia	Alrededor de 10 metros
Linealidad	Poca
Reproducibilidad	Alta
Resolución	Decima de °C

Los termopares más difundidos son los de tipo J, K, S y el tipo R, para todos estos y los demás termopares, existen tablas donde se brinda la fuerza electromotriz (fem), generada por los diferentes tipos de sensores en función de la temperatura.

**Figura N° 32– Presentaciones de los Termopares [8]**

Debido a su gran variedad los termopares cubren casi todos los rangos de temperatura, lo que los hace sumamente utilizados en la industria.

### 3.9.1.2 Clasificación de los termopares

Estos dispositivos, se dividen o se clasifican con respecto a su forma constructiva, básicamente si son metálicas o no, dentro de las metálicas se encuentran las de tipo E, J, K y T, y los no metálicos como los tipos S, R, B; ya que, se fabrican de distintos metales o aleaciones, con el objetivo de abarcar mayores rangos de medición de temperatura, los más comunes para aplicaciones industriales se muestran en la tabla 11, es importante mencionar que para cada tipo de termopar se encuentran hojas de datos que facilitan y orientan la interpretación del valor obtenido por el dispositivo.

**Tabla N° 13 – clasificación y rangos de medición de los termopares más comunes [15].**

Termopar	Material	Rangos de medición(°C)	Sensibilidad( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )
Tipo B	Platino6%/Rodio-platino30%/rodio	38 a 1800	7.7
Tipo C	Tungsteno 5%/Renio-Tungsteno26%/renio	0 a 2300	16
Tipo E	Cromo – Constantan	0 a 982	76
Tipo J	Hierro - Constantan	0 a 760	55
Tipo K	Cromo - Aluminio	-184 a 1260	39
Tipo R	Platino13%/Rodio-platino	0 a 1593	11.7
Tipo S	Platino10%/Rodio-platino	0 a 1538	10.4
Tipo T	Cobre -Constantan	-184 a 400	45

### **3.9.1.3 Aplicaciones industriales.**

Todo tipo de control de temperatura en los procesos industriales.

En aplicaciones industriales donde se requiera detectar temperaturas muy elevadas, los termopares se protegen con vainas de metal y cerámicas.

### **3.9.1.4 Principales Ventajas y desventajas**

Los principales atributos que poseen las termocuplas están: su bajo costo, su rápida respuesta a cambios de temperatura, tienen una razonable reproducibilidad, gran exactitud y poseen un amplio rango para la medición de la temperatura.

Por otro lado dentro de las desventajas de las termocuplas se tiene su baja sensibilidad que normalmente se encuentra entre 6.5 y 80  $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ; los voltajes que proporcionan son bastante bajos, esto puede verse afectado por ruido proveniente de los procesos industriales cercanos a la instalación del dispositivo; su exactitud se limita a una resolución de 0.5  $^{\circ}\text{C}$  y por último presenta rangos de operación no lineales, por lo que hace trascendental la utilización de las hojas de especificaciones de los fabricantes.

### **3.9.2 Termo resistencias PT100 o RTD**

La termo resistencia PT100 es un termómetro de platino, ampliamente utilizada en la industria por su rango de medición y porque el platino es el material que da la mayor exactitud, precisión y menos deriva; además con el uso de una adecuada extensión podemos hacer mediciones confiables y precisas hasta 30m de distancia. El único

inconveniente que se podría presentar es la humedad, esto ocasiona que se deterioren los cables, lo que facilita la posible generación de ruido. Su funcionamiento consiste en un hilo de platino de modo que a 0°C tiene una resistencia de 100Ω, y conforme la temperatura aumenta, aumenta también la resistencia.

### 3.9.2.1 Características de las PT100

**Tabla N° 14 – Principales características de una PT100**

Linealidad	Alta
Tiempo de respuesta	Menor a 200ms
Rango de medición	-200°C a 850 °C
Voltaje de salida	En el orden de mV
Distancia	Hasta 30 metros
Sensibilidad	Alta
Reproducibilidad	Alta
Resolución	0.01°C

Con respecto a la velocidad de respuesta, este valor depende principalmente del formato que se presente y es cada fabricante que da su valor en las hojas de fabricante.

El hilo de platino por lo general se encuentra protegido por una vaina de acero inoxidable.





**Figura N° 33– Presentaciones de las PT100 [8]**

### **3.9.2.2 Aplicaciones industriales más comunes**

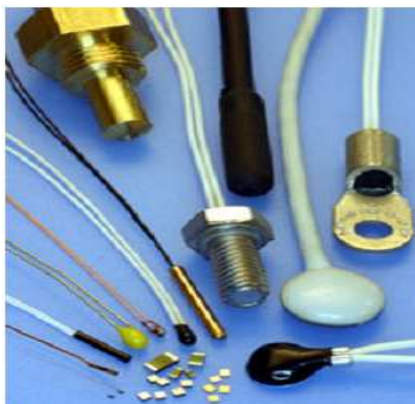
Todo tipo de detección de temperatura en los procesos industriales.

### **3.9.2.3 Principales Ventajas**

En cuanto a las ventajas se observa que es un sensor muy lineal, su rango de medición es bastante flexible, se puede utilizar un puente Wheatstone de 3 hilos para reducir el error cuando se colocan el sensor y el acondicionador de señal a una distancia considerable uno del otro.

### **3.9.3 Termistor**

Los termisores varían su resistencia en función de la temperatura al igual que los RTD, pero con la diferencia que su variación es de tipo exponencial. Cuando la variación es inversa a la temperatura se habla de un NTC y cuando la variación es directa con la temperatura se conoce como PTC



**Figura N° 34– Presentaciones de los termisores [8]**

### **3.9.3.1 Resistencias NTC**

Son resistencias sensibles a la temperatura, están fabricados de una mezcla de óxidos de Mn, Ni, Co, Cu, Fe y se encuentran amoldados en un cuerpo cerámico de varios tamaños. Presentan un coeficiente negativo con la temperatura, la cual puede resultar de un cambio externo de la temperatura ambiente o un calentamiento interno debido al efecto Joule de una corriente que fluye a través del termistor.

#### **3.9.3.1.1 Características de los NTC**

**Tabla N° 15 – Principales características de una resistencia NTC**

Resistencia	50 $\Omega$ y 1M $\Omega$ a 25°C
Sensibilidad	100 $\Omega$ /°C
Rango de temperatura	Es pequeño, muy útil para temperatura ambiente

### **3.9.3.2 Resistencias PTC**

Las resistencias PTC principalmente están compuestas de bario y estroncio con titanio. La adición de dopantes hace que la componente semiconductora dé una característica de resistencia con respecto a la temperatura, aunque son muy poco utilizados.

#### **3.9.3.2.1 Características de los PTC**

El cambio de su resistencia con al aumentar la temperatura es muy brusco.

Se utiliza como protección, ya que cuando aumenta mucho la temperatura, su resistencia aumenta, con lo que limita el paso de la corriente.

## **CAPÍTULO 4: Conclusiones y recomendaciones**

Después de analizar los principales sensores, podemos ver que existe al menos un tipo de sensor para cada variable que se desee medir, y dada la gran cantidad de instrumentos, en varios casos, se pueda realizar la medición por medio de más de un tipo de sensor, lo que es sumamente beneficioso, dado que se tiene la posibilidad de escoger el método de medición más adecuado, tomando en cuenta las características de la variable física a medir y del medio donde se va a realizar la medición.

Un aspecto de gran trascendencia a la hora de seleccionar e instalar un sensor analógico, es tomar en cuenta la temperatura a la cual va a operar, ya que como se observo en las características de los sensores, muchos de estos dispositivos están diseñados para trabajar en rangos específicos de temperatura. Operar un dispositivo en un rango de temperatura para el cual no esta especificado, ocasiona errores en la medición y puede

dañar permanentemente el dispositivo. Además se debe tener en cuenta que todo sensor que mida temperatura por contacto, solo puede hacerlo en temperaturas por debajo del punto de fusión.

Con respecto al medio donde se desea instalar el dispositivo, se debe tener presente que el grado de tolerancia que poseen los sensores con respecto a condiciones industriales donde se tiene mucho polvo, humedad, temperatura extrema, los campos eléctricos y magnéticos; por lo que se debe verificar si el dispositivo está dotado de inmunidad a este tipo de fenómenos por ejemplo su tipo de carcasa y con esta información determinar los rangos máximos en los que el dispositivo logra mantener sus características de medición estables.

Para el tipo de protección externa, existe la norma de protección de equipos llamada IP (ver Apéndice). Esta norma establece los grados de protección para equipos electrónicos e indica el tipo de protección presente según la numeración, por ejemplo IP 65 quiere decir que están protegidos contra agua y polvo en toda dirección.

Es importante tener en cuenta la carga mecánica que ejerce el sensor; los sensores inductivos y capacitivos presentan la menor carga mecánica al proceso y son muy precisos, los sensores resistivos podrían tener problemas, pues debido a la fricción interna suelen tener alta carga mecánica.

En general se recomienda que para escoger un sensor, se debe de tener conocimiento previo del proceso a medir, tomar en cuenta el tipo de variable física a medir, las condiciones en las que se va a realizar la medición, si es de tipo invasivo, no

invasivo o sumergible, las características del medio como la humedad y temperatura, el grado de exactitud, repetitividad y resolución deseados en el instrumento, el precio, la carga mecánica que representa el sensor para el proceso, vida útil del sensor, el tipo de alimentación Vcc o Vdc, el tipo y la magnitud de salida que va a tener el dispositivo, esto conociendo el equipo de control a utilizar y los estándares para los equipos y por último el grado de inmunidad al ruido.

Durante la elaboración del trabajo se observó que el tipo de sensor más difundido en los procesos industriales son los que pueden medir desplazamiento y longitudes, ya que para la mayoría de las variables se puede convertir su magnitud en un desplazamiento, cuyo procesamiento es entonces más sencillo.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros:

1. Mompín Poblet, J. **“Transductores y medidores electrónicos”**, 2 edición, Marcombo, España, 1983.
2. Creus Sole, A. **“Instrumentos Industriales”**, 2 edición, Alfaomega, México, 1995.
3. Siemens Aktiengesellchaf, **“Técnica de las medidas eléctricas”**, 1 edición, Dossant, España, 1975.
4. Pallás Areny, R. **“Sensores y acondicionadores de señal”**, 3 edición, Marcombo, España, 1998.
5. Ogata, K. **“Ingeniería de control moderna”**, 4 edición, Prentice Hall, U.S.A, 1999.

### Páginas web:

6. **“Sensor”**, <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>
7. Margaix Bayarri, J. **“Transductores”**,  
<http://www.gii.upv.es/personal/gbenet/treballs%20cursos%20anteriors-TIM-IIN-INYP-AYPD/TRABAJO%20transductores-margaix.pdf>
8. **“Transductores y sensores en la automatización Industrial”**,  
[http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_industrial/transductoressensores/default.asp](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/transductoressensores/default.asp)

9. **“Introducción”**,

<http://www.formazionepn.org/formazioneinternazionale/Download/Didattica/Automatizacion%20Procesos%20-%20introduccion1.pdf>

10. **“Sensores y transductores”**,

<http://eii.unex.es/profesores/pmerchan/API/TEMAS/Tema%208.pdf>

11. **“Transductores”**,

<http://www.salesianos-sevilla.com/malaga/image/TRANSDUCTORES.pdf>

12. Barragán Piña, A. **“Sensores y Actuadores”**,

[http://www.eici.ucm.cl/Academicos/lpavesi/archivos/Apuntes/Apuntes%20Arq.%20de%20Comp.%20I/Tema2\\_Sensores\\_y\\_Actuadores.pdf](http://www.eici.ucm.cl/Academicos/lpavesi/archivos/Apuntes/Apuntes%20Arq.%20de%20Comp.%20I/Tema2_Sensores_y_Actuadores.pdf)

13. **“Transductores, sensores y captadores”**,

[http://www.juntadeandalucia.es/averroes/ies\\_sierra\\_magina/d\\_tecnologia/bajablaes/2%20bachillerato/TRANSDUCTORES,%20SENSORES%20Y%20CAPTADORES.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/ies_sierra_magina/d_tecnologia/bajablaes/2%20bachillerato/TRANSDUCTORES,%20SENSORES%20Y%20CAPTADORES.pdf)

14. **“Efecto Piezoeléctrico ”**,

<http://www.sabelotodo.org/electrotecnia/piezoelectrico.html>

15. Mayné, J **“Sensores Acondicionadores y procesadores de Señal ”**,

[www.silica.com](http://www.silica.com)

## **APÉNDICES**

### **Apéndice 1**

#### **Efecto Peltier y el efecto Thompson**

Fue Thomas J. Seebeck quien en 1822 descubrió que en dos metales distintos con dos uniones a diferente temperatura aparece una corriente eléctrica, es decir se convierte la energía térmica en energía eléctrica, en este fenómeno se da que si bien la corriente es dependiente de la resistencia del cable, la fuerza transversal Electromagnética es constante, esto se pudo explicar luego con el efecto Peltier y el efecto Thompson, pues el efecto Seebeck es una combinación de los dos efectos anteriores.

En 1834 Jean C. A. Peltier descubrió el efecto Peltier, que consiste en el calentamiento o enfriamiento de la unión de dos metales distintos por la que se hace circular corriente. Al invertir el sentido de la corriente se invierte el sentido de flujo del calor. Este efecto es reversible e independiente de la forma y dimensiones de los conductores, pues depende solamente de la composición de los materiales y de la temperatura de la unión. Curiosamente esta dependencia resulta ser lineal, lo que simplifica aun mas la implementación de estos dispositivos, pues el calor intercambiado por unidad de superficie de la unión es proporcional a la corriente y no al cuadrado de esta como en los dispositivos con unión con efecto Joule.



El efecto Thompson, descubierto por William Thompson (Lord Kelvin) describe la absorción o liberación de calor por parte de un conductor homogéneo con temperatura no homogénea por que el que circula una corriente, en este conductor el calor liberado es proporcional a la corriente y por ello cambia de signo al hacerlo el sentido de la corriente. Se absorbe calor al fluir corriente del punto más frío al mas caliente y se libera calor del mas caliente al mas frío. En otras palabras se absorbe calor cuando el calor y la corriente fluyen en direcciones opuestas.

En el caso de que la corriente empleada sea muy pequeña se pueden despreciar los efectos de calentamiento por efecto Joule, esto permite considerar exclusivamente los efectos termoeléctricos reversibles, para este caso la energía termoelectromotriz producida debe coincidir con la energía térmica neta transformada.

## Apéndice 2

### Norma IP (Índice de Protección)

El índice de protección (IP) es un estándar internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional 60529, la cual clasifica el nivel de protección que provee una aplicación eléctrica contra la intrusión de objetos sólidos o polvo, contactos accidentales o agua. El resultado es el Índice de protección (IP) la explicación a las letras IP es dada la norma CEI 60529, donde se identifica por un código que consiste en las letras IP seguidas por dos dígitos y una letra. Los dígitos indican la conformidad con las condiciones resumidas en las tablas. Cuando no hay índice de protección descrito con arreglo a este criterio, el dígito puede ser reemplazado por una letra X.

#### Primer dígito

Indica el nivel de protección que provee contra el acceso de elementos peligrosos

**TablaN° 16- Nomenclatura primer dígito Norma IP**

Nivel	Protección contra objetos	Efectividad
0	—	ninguna protección contra la intromisión de objetos
1	>50 mm	alguna superficie grande del cuerpo, como espalda o mano, pero no protegido contra la conexión deliberada de alguna parte del cuerpo

2	>12,5 mm	dedos u objetos similares
3	>2,5 mm	herramientas, cables gruesos, etc.
4	>1 mm	mayoría de los cables, tornillería, etc.
5(K)	polvo	la intrusión de polvo no esta completamente garantizada, pero es bastante satisfactoria; protección completa de los contactos
6(K)	polvo fino	ninguna penetración de polvo; protección completa de los contactos

### **Segundo dígito**

Protección del equipo contra la intrusión perjudicial de agua.

**TablaN° 17- Nomenclatura segundo digito norma IP**

Nivel	Protección Contra	Detalles
0	Sin protección	—
1	Goteo de agua	El goteo del agua (en gotas verticales que caen) no causará daños en el equipo.
2	Agua goteando inclinado 15°	El goteo vertical del agua no causará daños en el equipo cuando el ángulo que forman es menor de 15° desde su posición normal.
3	Agua rociada	Agua que cae en cualquier ángulo superior a 60° desde la vertical no causará daños.
4	Chorro de agua	El agua chorreada hacia la protección del equipo desde cualquier dirección no tendrá efectos dañinos.
5	Potente chorro	El agua disparada por una boquilla hacia la protección

	de agua	del equipo desde cualquier dirección no tendrá efectos dañinos.
6	Fuertes aguas	El agua de mar/oleaje o disparada potentemente hacia la protección del equipo desde cualquier dirección no tendrá grandes efectos de daño cuantitativo.
7	Inmersión a 1 m	No tendrá grandes efectos de daño cuantitativo para el equipo su inmersión en agua en condiciones definidas de presión y tiempo (a 1 m de sumersión).
8	Inmersión a más 1 m	No habrá daños para el equipo derivados de su inmersión en agua en condiciones definidas por las especificaciones o el fabricante (a más de 1 m de sumersión). NOTA: normalmente, esto significará que el equipo está asilado herméticamente. Sin embargo, en ciertos tipos de equipos, esto puede significar que el agua puede penetrar pero solo en una manera que no produce efectos perjudiciales.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### Curva de resistencia relativa

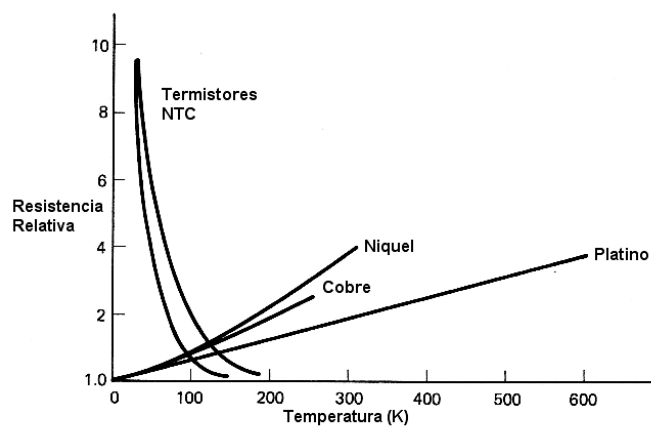


Figura N° 35- Resistencia relativa de termistores y resistencias térmicas [1]

### ANEXO 2

#### Curva de calibración de un sensor

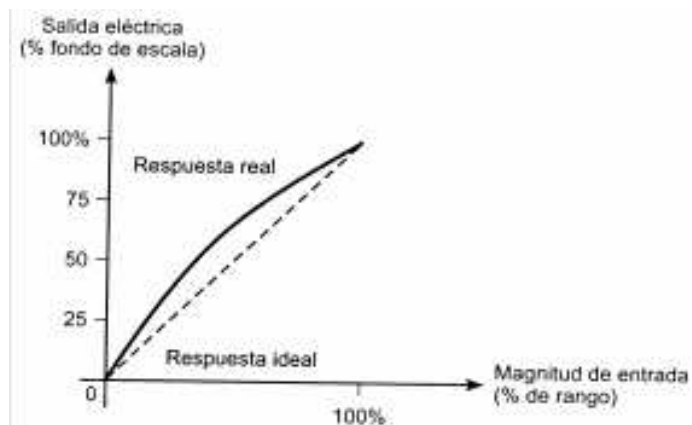


Figura N° 36- Curva da calibración de un sensor [10]

### ANEXO 3

#### Curva de calibración de un sensor con histéresis

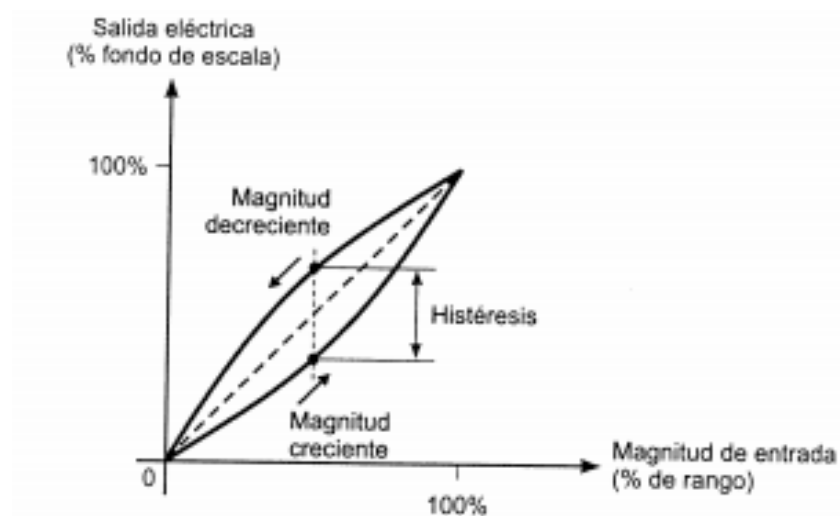


Figura N° 37- Curva da calibración de un sensor que posee histéresis [10]