

CAPITULO IV TRANSDUCTORES

Los transductores en general, son dispositivos que permiten convertir una forma de energía en otra. Por ejemplo, los transductores eléctricos, tienen la particularidad de convertir variables físicas como la luz, la temperatura, el sonido, etc., en señales de voltaje o corriente equivalentes o viceversa.

Existe una gran variedad de dispositivos, tanto de entrada como de salida, basados en un principio físico específico. Una fotocelda o LDR (transductor de entrada), por ejemplo, convierte energía luminosa en eléctrica, mientras que un motor (transductor de salida) convierte energía eléctrica en mecánica.

En otras palabras, los transductores permiten la comunicación entre los sistemas electrónicos con el mundo real, de esta manera, se pueden controlar procesos industriales, biológicos, domésticos o de cualquier otra índole. La Figura Nro. 3.1 describe la estructura general de un sistema electrónico compuesto de transductores de **entrada** y de **salida**.

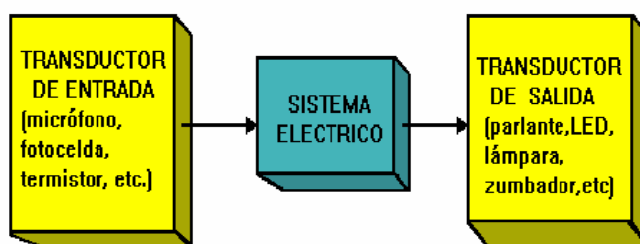


Figura Nro. 4. 1 Transductores de Entrada/Salida

Los transductores de **entrada** se encargan de suministrar las señales eléctricas, posteriormente se acondicionarán, amplificándolas, a través de

circuitos electrónicos, siendo adquiridas a través de conversores **A/D**, para luego ser analizadas por el computador. Luego, a través de los transductores de **salida**, se generan las respuestas que permiten controlar un determinado proceso.

4.1 Sensores de Nivel

Este tipo de dispositivos se utiliza en la medición de niveles, ya sea, de líquidos y sólidos, entendiéndose por medición de niveles a la diferencia entre alturas. Esta medición puede obtenerse, en forma directa o indirecta. Para el primer caso, se aprovecha la variación de nivel directamente, como lo hacen los sensores tipo flotador y detectores de electrodos, mientras que en los segundos las diferencias de altura son detectadas indirectamente, por ejemplo, sensores de presión.

4.1.1 Transductor Tipo Flotador

Este tipo de sensor está formado generalmente por un flotador, un contrapeso y una polea, como se muestra en la Figura Nro. 4.2, siendo un elemento de características lineales y de fácil construcción. En la que se relaciona el desplazamiento de la polea con la variación en el nivel. Figura Nro. 4.3.

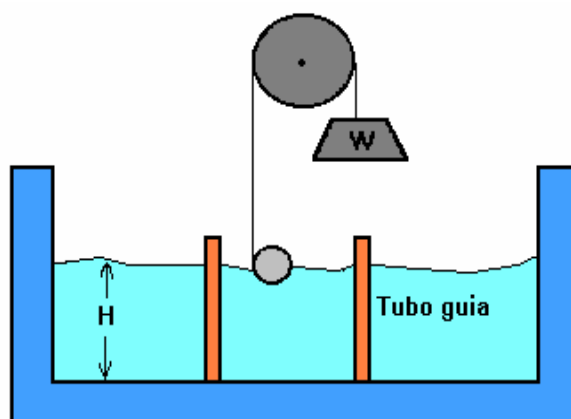


Figura Nro. 4. 2 Sensor de Nivel Tipo Flotador

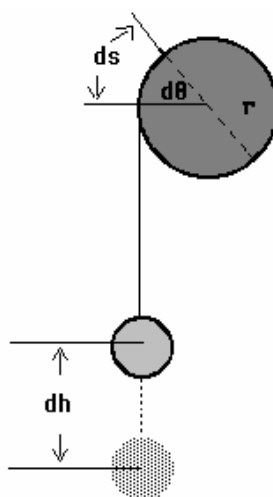


Figura Nro. 4. 3 Relación de Desplazamiento

Cuando el nivel sufre una variación de magnitud dH , la polea es capaz de experimentar un desplazamiento de igual magnitud.

$$dH = dS = rd\theta$$

Este desplazamiento puede ser utilizado si en el eje de la polea es puesto el **cursor** de un **potenciómetro lineal**, así se traduce en variación de tensión o de resistencia eléctrica. Figura Nro. 4.4.

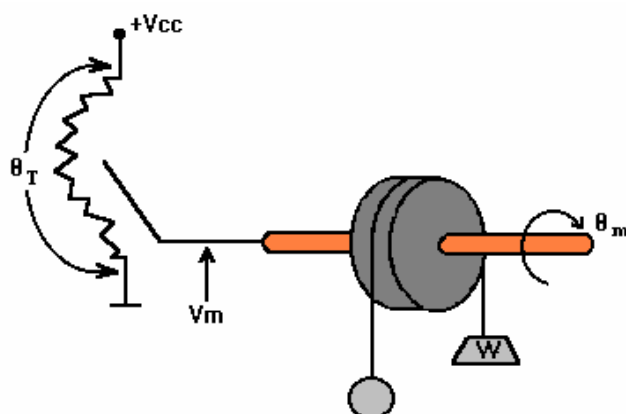


Figura Nro. 4.4 Sensor de Nivel Tipo Flotador con Potenciómetro

En este tipo de transductor el desplazamiento angular θ_m en la polea es capaz de provocar un desplazamiento de igual magnitud en el potenciómetro. Así, si R_{PT} es la resistencia fija total del potenciómetro, entonces, la resistencia variable observable desde el punto de vista de los terminales del sensor está dada por:

$$R_{pm} = \frac{\theta_m}{\theta_T} R_{PT}$$

Donde θ_T representa el ángulo de desplazamiento máximo del potenciómetro, siendo éste mayor o igual al máximo desplazamiento angular de la polea.

Es importante destacar que esta relación es válida únicamente si el potenciómetro es lineal, en caso contrario sólo sería válida para un pequeño rango lineal, dentro de la curva característica.

Por lo tanto la tensión V_m está dada por:

$$V_m = \frac{R_{pm}}{R_{PT}} V_{CC} = \frac{r_m / r_T R_p}{R_{PT}} V_{CC} = \frac{r_m V_{CC}}{r_T}$$

Finalmente, recordando el hecho de que el ángulo θ_m y el nivel están relacionados a través del radio de la polea, r , es posible plantear:

$$V_m = \frac{V_{CC}}{r} \frac{r}{r_T} H$$

Sin embargo, pese a ser de muy fácil construcción este tipo de transductor presenta problemas de sensibilidad a las turbulencias del líquido, además, en la práctica posee histéresis.

4.1.2 Transductores Sónicos

Estos sensores basan su funcionamiento en el principio del Sonar. Generalmente, constan de un transmisor y un detector de ondas sónicas. El transmisor comúnmente de cristal envía una señal la que es reflejada por el líquido y recibida por el detector, que en general corresponde al mismo transmisor. El tiempo que transcurre entre la emisión y la detección es proporcional al nivel a medir.

Se pueden clasificar de acuerdo al tipo de construcción en sensores de fase líquida y de fase gaseosa. Los primeros, Figura Nro. 4.5 (a), utilizados para la medición del nivel de líquidos, encontrándose normalmente dentro de estos mismos. Los segundos, son de uso más general y normalmente se localizan a cierta distancia por sobre el sistema a medir. Figura Nro. 4.5 (b).

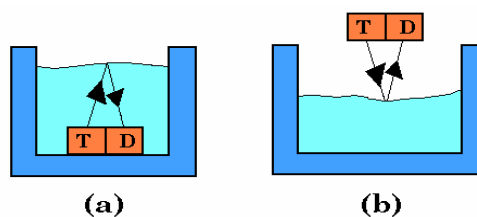


Figura Nro. 4.5 Sensores de Nivel Sónicos. (a) Fase Líquida, (b) Fase Gaseosa

Estos sistemas de medición dependen fuertemente de las condiciones ambientales. Así, la temperatura, presión o composición química del líquido son factores que afectan la velocidad de propagación de la onda sonora, generando inexactitud en las mediciones.

4.1.3 Transductores de Efecto Capacitivo

Este tipo de sensores se utilizan tanto en la medición de niveles de líquido, como de sólidos de forma granular. Su principio de funcionamiento es bastante sencillo, el líquido o sólido actúa de dieléctrico entre dos placas paralelas, de modo que al variar el nivel varía la capacidad eléctrica del conjunto. El efecto de capacitancia variable puede ser utilizada de formas distintas para ser convertidas en una señal eléctrica útil. Figura Nro. 4.6

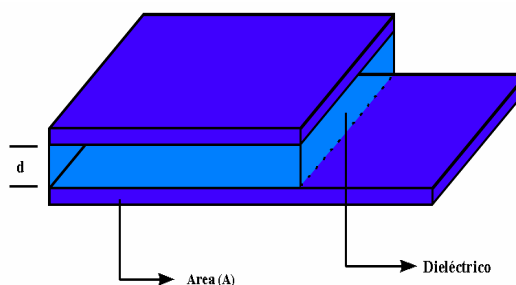


Figura Nro. 4.6 Transductor de Efecto Capacitivo

En un condensador de placas paralelas separadas por un material dieléctrico la capacidad está dada por:

$$C = \frac{E_o K A}{d}$$

Donde **K** es la constante dieléctrica del material entre las placas; **A**, el área de éstas; **d**, la distancia de separación entre las placas; y por último, **E_o**, que corresponde a la permeabilidad magnética al vacío.

Por lo tanto, de acuerdo a las Figuras Nro. 4.7 , 4.8 y Tabla IV - 1, se tiene:

$$C_H = C_1 + C_2$$

$$C_H = \frac{E_o K_1}{d} DH + \frac{E_o K_2}{d} DL = H + L$$

$$C_H = \frac{E_o D}{d} [K_1 H + K_2 L]$$

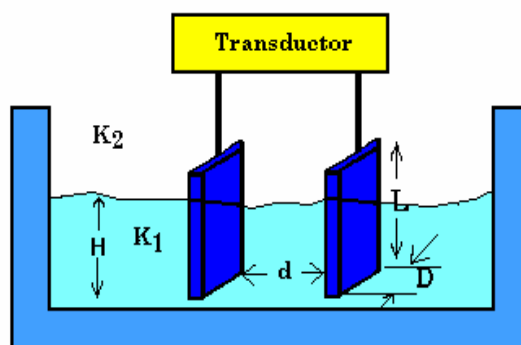


Figura Nro. 4.7 Dimensiones de un Sensor de Efecto Capacitivo

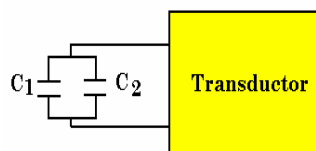


Figura Nro. 4.8 Circuito Equivalente para Sensor Capacitivo

MATERIAL	TEMPERATURA °C	CTE. DIELECTRICA
Acido Fórmico	15.6	58,5
Agua	25	78,5
Aire	-	1,0
Cloridio de Sodio	0	5,9
Etanol	25	24,3
Piróxido de Hidrógeno	0	84,2
Propano	-	1,61
Vidrio	-	3,7 .. 10

Tabla IV- 1 Constantes Dieléctricas de Materiales de Uso Común

Por último, se debe tener presente que este tipo de sensores presentan algunos problemas que conviene destacar:

- ? Las constantes dieléctricas **K**, varían con la temperatura.
- ? Los líquidos o sólidos conductores falsean las mediciones.
- ? Los líquidos con burbujas de aire introducen cambios imprevisibles en la capacitancia.
- ? Se debe realizar una limpieza periódica de las placas con el fin de asegurar mediciones confiables.

4.2 Transductores de Temperatura

Estos dispositivos son capaces de convertir variaciones de temperatura en señales eléctricas equivalentes, prestando un servicio importantísimo en todo lo que se refiere al control o monitoreo de la cantidad de calor presente en algún punto de un sistema, por ejemplo, determinar a que temperatura está trabajando un horno.

4.2.1 Termoresistencias

Este tipo de sensores utilizan la característica de algunos materiales que varían su resistencia con la temperatura, siendo altamente sensibles a los cambios de temperatura que se producen, pudiendo ser calentados externamente por el medio ambiente o internamente por una corriente a través suyo.

Los cambios producidos en la resistencia deben ser aprovechados a través de un divisor de tensión, para obtener variaciones de voltaje que permitan ser incorporados como datos a los sistemas de adquisición donde se procesarán.

El principio de su funcionamiento se basa en la propiedad de algunos materiales de variar su resistencia eléctrica con la temperatura. La siguiente ecuación representa la variación de la resistencia con respecto a la temperatura de estos elementos.

$$R_T = R_0 (1 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 + \dots + a_n T^n)$$

Donde R_0 , es la resistencia a una temperatura de referencia, en $^{\circ}\text{C}$, a_1 , el coeficiente de temperatura de referencia y a_2, a_3, \dots, a_n , son coeficientes

constantes, que al igual que el número de términos de la ecuación dependerán del material de fabricación, del rango de temperatura y de la exactitud requerida.

La sensibilidad de estos dispositivos está definida mediante el cambio de resistencia por el cambio en la temperatura medida y a diferencia de otros transductores de temperatura, éstos exhiben una sensibilidad que es prácticamente constante, de aproximadamente $0,385 \text{ } \Omega / ^\circ\text{C}$, independientemente que la temperatura medida sea alta o baja.

Existen dos clases generales de termoresistencias, que se diferencian entre si por su material de fabricación, unas a base de metales y otras de materiales semiconductores. Para el primer caso, el valor de sus coeficientes a_1 , a_2 , ..., a_n , en la expresión anterior, es positivo, esto significa que su resistividad aumentará con la temperatura, por lo que se denominan **Termistores PTC** (Coeficiente Positivo de Temperatura).

Los materiales más comúnmente utilizados para esta clase de dispositivos son el platino, níquel y cobre, que por tener una relación **resistencia-temperatura** estable, y además, contar con un valor de resistencia específica (Ω / cm^3), que permita construir estos dispositivos en un tamaño práctico, los hace ideales para este tipo de transductores, ya que, no todos los metales poseen estas características.

La ecuación que relaciona la resistencia con la temperatura para estos materiales se aproxima sólo a dos términos. Por lo tanto la relación quedaría como sigue:

$$R_T \approx R_0 [1 + \alpha T]$$

En donde, la siguiente tabla resumirá los valores para los metales más utilizados en este tipo de sensores y la Figura Nro. 4.9 reflejará su comportamiento, con un gráfico de **Resistencia vs. Temperatura**.

MATERIAL	COEF. DE αT , "a" ($1 / ^\circ C$)	RESISTENCIA ESPECÍFICA (Ω / cm^3)	R_0 (Ω)	TEMPERATURA $^\circ C$
Platino	0,00385	9,83	25,5	1200
Níquel	0,0066	6,38	1..1000	-70..150
Cobre	0,00425	1,56	25	-200..150

Tabla IV- 2 Características para Termoresistencias Según Material de Fabricación

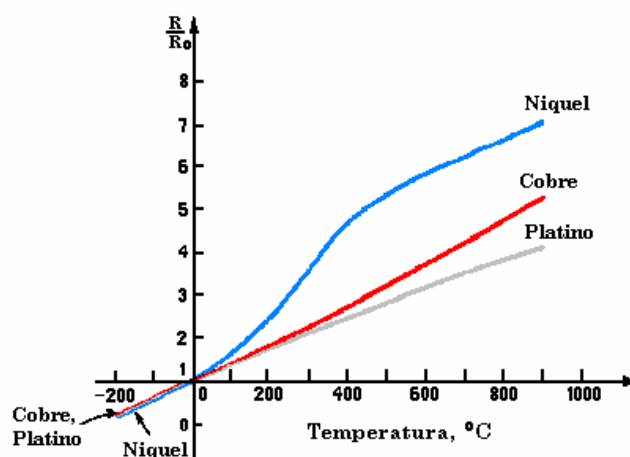


Figura Nro. 4.9 Curvas de Resistencia vs. Temperatura para Termoresistencias

El segundo tipo de termoresistencias, también conocidos como **Termistores NTC** (Coeficiente Negativo de Temperatura), se caracterizan por tener la propiedad de disminuir su resistividad con la temperatura, por lo tanto, sus coeficientes (a_1, a_2, \dots, a_n) en la relación Resistencia-Temperatura tendrían valores negativos.

En la actualidad el mercado dispone de una gran variedad de estilos y presentaciones, la Figura Nro. 4.10 muestra algunos de los más comunes. Su fabricación se hace a través de un proceso llamado **sinterización**, donde se emplean óxidos de materiales tales como el níquel, manganeso, cobre y cobalto. La cápsula es epóxica o de vidrio, debiendo ser montada en sondas de prueba especiales, generalmente de acero o de vidrio, de modo que puedan protegerse cuando sean utilizadas en líquidos u otros ambientes. Las sondas deben estar eléctricamente aisladas del cuerpo del termistor, pero en íntimo contacto térmico con él.

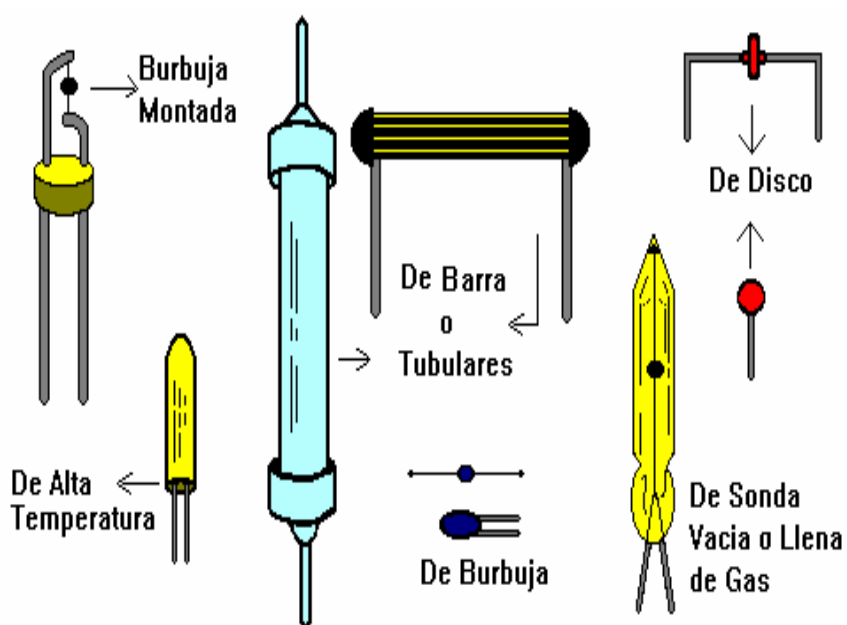


Figura Nro. 4.10 Tipos de Termistores

Existen distintas formas de medir la temperatura con estos elementos. Una de las más sencillas es la que se muestra en la Figura Nro. 4.11, en ella la Termoresistencia forma parte de un Divisor de Tensión, en donde el voltaje medido está dado por:

$$V_{out} = V \frac{R}{R + R_T}$$

En esta expresión, evidentemente V y R son constantes, por lo tanto, la medición variaría con los cambios de la Termoresistencia. Cabe destacar que esta forma de medir resulta ser no lineal y además de tener el inconveniente de entregar como mínimo el valor correspondiente a la temperatura ambiente.

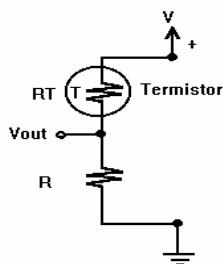


Figura Nro. 4.11 Circuito Tipo Divisor de Tensión

Otra de las configuraciones utilizadas es la denominada Puente de Wheatstone, ésta alternativa resulta ser muy conveniente, ya que elimina totalmente el efecto de la temperatura ambiente, por lo tanto, entrega un voltaje de salida directamente proporcional a la temperatura, siendo de gran utilidad en el control de temperatura de procesos en un rango bastante estrecho.

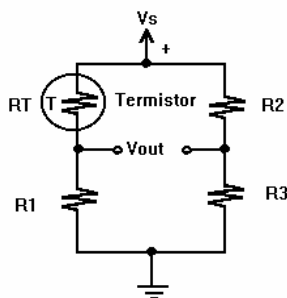


Figura Nro. 4.12 Circuito Puente de Wheatstone

Para calcular el valor óptimo de R_1 en el circuito anterior se hace en base a:

$$R_1 = \frac{R_{T1} R_{T2} + R_{T2} R_{T3} + 2 R_{T1} R_{T3}}{R_{T1} + R_{T3} + 2 R_{T2}}$$

Esta expresión resulta válida para cualquier tipo de termistor, donde R_{T1} , R_{T2} , R_{T3} , son respectivamente, los valores de resistencia de un termistor a las

temperaturas mínima, central, y máxima, siendo determinados experimentalmente o bien, consultando los datos de sus fabricantes.

El valor para R_3 debe escogerse igual al de R_1 y el de R_2 igual al valor de la resistencia del termistor a una temperatura en que éste entregue un voltaje de 0, recomendándose que para efectos de propósitos de calibración, es preferible una resistencia variable.

El voltaje de alimentación determina la sensibilidad del circuito, debiendo escoger un valor adecuado, puesto que si fuese muy alto causaría efectos de sobrecalentamiento, pudiendo provocar errores de medición.

En general, existe una expresión válida casi para todos los termistores, que relaciona la resistividad con la temperatura y está dada por:

$$R(T) = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Donde R_0 corresponde a la Resistencia a temperatura T_0 , en $^{\circ}\text{K}$ y B , es una Constante que depende del proceso de elaboración, proporcionada por el fabricante, sin embargo, en algunos casos puede ser aproximada a:

$$B \approx \frac{E}{K}$$

Donde E , es el nivel de energía, dado en electrón Volts (eV) y K es la constante de Stefan Bultzman ($8,625 \times 10^{-6} \text{ eV} / ^{\circ}\text{K}$).

Esta expresión es una muy buena aproximación, sin embargo, no tiene mayor utilidad cuando se trata de aplicaciones de gran precisión, por lo que sólo sirve cuando se requiere comparaciones entre termistores.

4.2.2 Termocuplas

Estos dispositivos pueden controlar y realizar mediciones de temperaturas con exactitud sobre intervalos significativamente amplios. Sin embargo, tienen sus limitaciones. Existiendo actualmente una gran variedad de ellos en el mercado como se puede ver en la Figura Nro. 4.13.

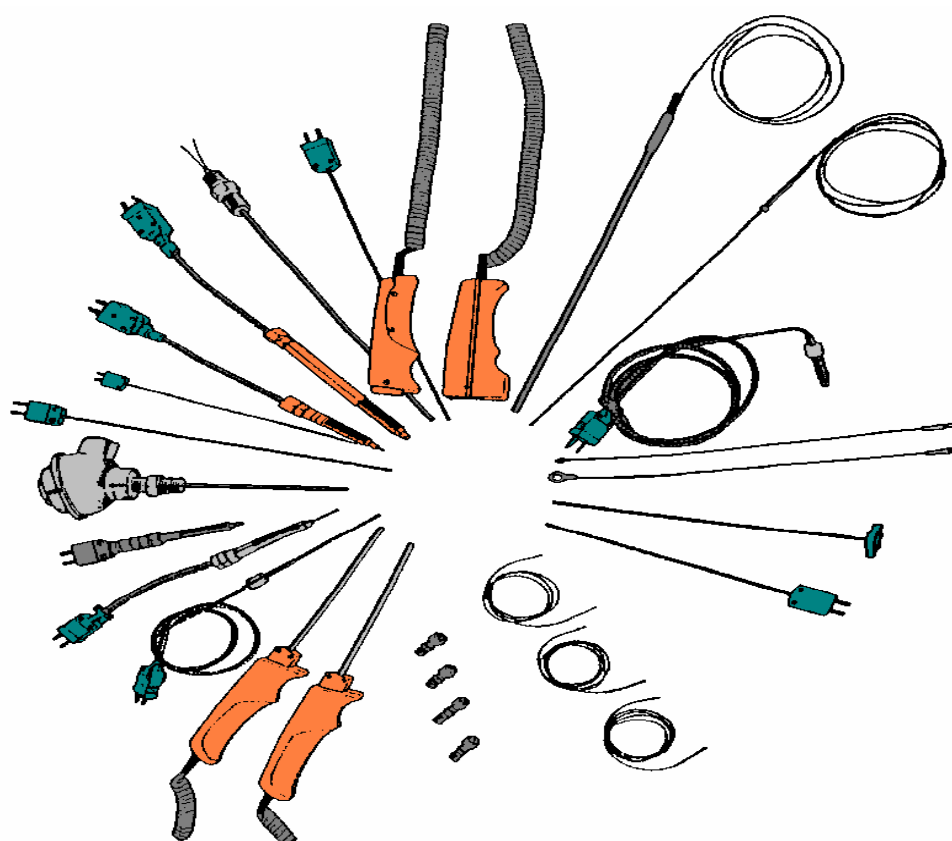


Figura Nro. 4. 13 Tipos de Termocuplas

Su funcionamiento está basado en un fenómeno físico llamado **Efecto Seebeck** o termoelectrico, el que establece que cuando se unen 2 materiales de diferentes características térmicas, por ejemplo hierro y constantán, Figura Nro. 4.14, se genera entre sus terminales, A y B, un pequeño voltaje que es una función de la temperatura aplicada a la unión.



Figura Nro. 4. 14 Principio del Funcionamiento de una Termocupla

Estos dispositivos pueden ser clasificados en tres grupos, según el tipo de unión que posean, expuesta, conectada a tierra y no conectada a tierra. En el primer caso, Figura Nro. 4.15 (a), se muestra como la unión se extiende fuera de la vaina protectora, esto se utiliza cuando se desea una respuesta más rápida, no siendo apropiada para fluidos corrosivos. En el segundo grupo, Figura Nro. 4.15 (b), la unión está protegida totalmente dentro de la vaina, lo que permite medir temperatura en ambientes corrosivos, sin embargo, de los tres tipos, éste es la que proporciona una respuesta menos rápida, pero tienen la ventaja de generar una señal completamente aislada desde el punto de vista eléctrico. Por último, Figura Nro. 4.15 (c), muestra la unión conectada a tierra, que al igual a las del caso anterior, sirve en para medir temperatura bajo ambientes corrosivos, no obstante, es mucho más rápida que la anterior, aunque no tanto como la junta expuesta.

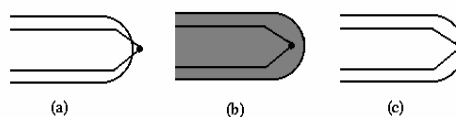


Figura Nro. 4.15 Tipos de Uniones de Termocuplas

En general, las termocuplas utilizadas en los procesos de control constan realmente de dos uniones, una de ellas debe ser colocado en el lugar donde se desea medir la temperatura, mientras que la otra, denominado Juntura Fría, se ubica en un medio a temperatura constante o de referencia conocida, que tanto las curvas características como los rangos de operación de estos dispositivos dados por los fabricantes están referidos a 0°C . De este modo, y puesto que la termocupla basa su funcionamiento en las diferencias de temperatura, al mantenerse constante la temperatura de la juntura fría la medición será sólo sensible a las variaciones de la temperatura en la otra juntura, Figura Nro. 4.16. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en la práctica el extremo frío no está sometido a 0°C , puesto que la mayoría de las veces está sujeto a temperatura ambiente, que es distinta de cero. Por lo tanto, para corregir este problema se debe agregar a la curva un valor de tensión igual al que se obtendría al someter la termocupla a una temperatura igual a la del ambiente, con 0°C en la juntura fría.

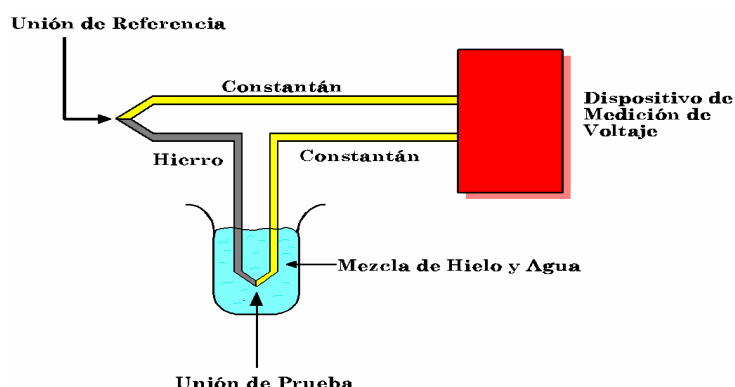


Figura Nro. 4.16 Funcionamiento de Termocupla Temperatura de Referencia

En el mercado, las termocuplas comerciales se distinguen por letras, que a su vez identifican el o los materiales que se utilizaron en su fabricación y el rango de temperatura en el que funcionan, ofreciendo generalmente una sensibilidad mínima de $20 \mu\text{Volts}/^{\circ}\text{C}$. Los materiales más comúnmente utilizados para este tipo de sensores son hierro, constantán, cromel (aleación de cromo y níquel), alumel (aleación de aluminio, manganeso y níquel), cobre, platino y rodio.

La siguiente tabla describe los distintos tipos de termocuplas, su material de fabricación y su rango de temperatura, a continuación, en la Figura Nro. 4.17 se presenta un gráfico que describe su comportamiento.

TIPO	MATERIAL POSITIVO	MATERIAL NEGATIVO	RANGO DE TEMPERATURA	
			$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$
B	Platino más 30% de Rodio	Platino más 6% de Rodio	1600..3100	870..1700
E	Cromel	Constantán	32..1600	0..870
J	Hierro	Constantán	32..1400	0..760
K	Cromel	Alumel	32..2300	0..1260

R	Platino más 13% de Rodio	Platino	32..2700	0..1480
S	Platino más 10% de Rodio	Platino	32..2700	0..1480
T	Cobre	Constantán	-300..700	-180..370

Tabla IV- 3 Clasificación de Termocuplas

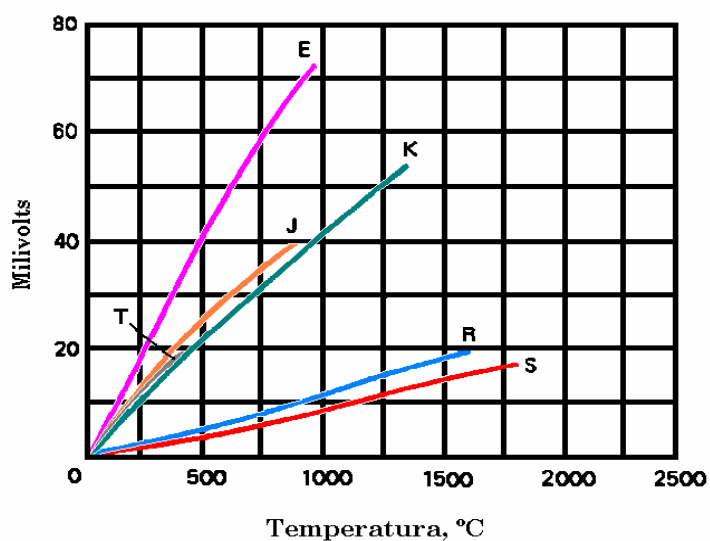


Figura Nro. 4. 17 Curvas Características de Termocuplas

En general, no existe una termocupla ideal para cada caso, por lo que la diferencia entre una y otra está dada por el rango de temperatura a medir y el tipo de material utilizado en su construcción, el ambiente en donde estará inserta la termocupla, el costo y la linealidad de la medición.

4.3 Sensores de Luz

Estos dispositivos son capaces de convertir variaciones de luz en variaciones de corriente o voltaje equivalentes, destacándose principalmente por su rapidez en los tiempos de respuesta (del orden de los microsegundos o menos) y por poseer un alto grado de sensibilidad en la detección de objetos.

En la siguiente sección se describirán algunos de los transductores más comúnmente utilizados en los sistemas de control y monitoreo. Entre los dispositivos incluidos figuran los sensores fotoeléctricos, fotoconductivos y fotovoltaico.

4.3.1 *Transductor Fotoeléctrico*

Estos sensores se componen principalmente de dos elementos, protegidos por una ampolla de vidrio o cuarzo al vacío, o bien, llena de gas inerte. Reaccionan a la luz que incide en el cátodo, provocando que éste emita electrones, los que serán captados por el ánodo, produciendo así una corriente eléctrica que es utilizada por un circuito externo. Este fenómeno se conoce con el nombre de **Efecto Fotoeléctrico**.

En general, estos dispositivos son muy útiles como medidores de luz (fluxómetros), contadores de personas y objetos, detectores de proximidad, etc.

La Figura Nro. 4.18 muestra el circuito que utiliza un este tipo de dispositivos.

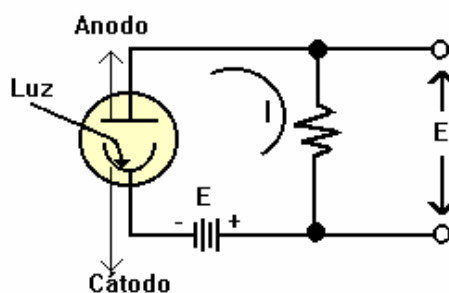


Figura Nro. 4. 18 Circuito con Transductor Fotoeléctrico

4.3.2 Transductor Fotoconductorivo

Este sensor es otro tipo de transductor de luz, que basa su funcionamiento en las propiedades de determinadas sustancias semiconductoras, como por ejemplo, sulfuro, seleniuro, telurio y antimoniuro de plomo, las que disminuyen su resistencia cuando la luz incide sobre ellas, produciendo un aumento en la corriente de salida. Son de mucha utilidad principalmente para detectar radiaciones en una amplia gama de longitudes de ondas del espectro electromagnético. La siguiente figura presenta la configuración típica para este tipo de sensores.

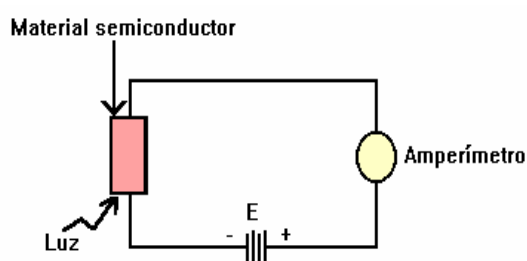


Figura Nro. 4. 19 Circuito con Transductor Fotoconductorivo

Uno de los transductores fotoconductorivos más populares es la fotocelda o LDR (Light dependent resistor) de sulfuro de cadmio, que es utilizada en

alarmas, contadores, sistemas automático de control y en muchas otras aplicaciones, Figura Nro. 4.20. Su resistencia , en general, puede variar desde los 10M Ω en la oscuridad hasta 1K Ω en presencia de luz brillante.

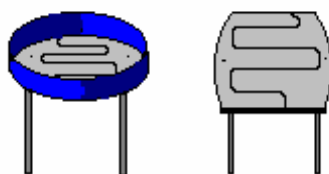


Figura Nro. 4. 20 Celda Fotoconductiva o LDR

4.3.3 Celdas Fotovoltaicas

Este tipo de sensores basan su funcionamiento en la reacción que ocurre cuando la luz incide en la barrera que existe entre el material semiconductor y la capa metálica transparente, se produce entre ésta última y la capa metálica de base un voltaje o diferencia potencial. Figura Nro. 4.21.

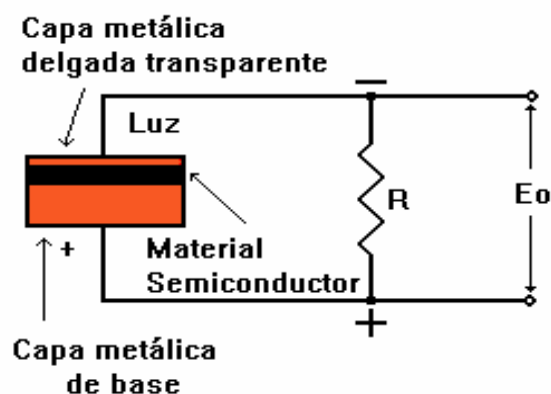


Figura Nro. 4. 21 Celda Fotovoltaica

Las celdas fotovoltaica se construyen generalmente de selenio, silicio, óxido de cobre y germanio. Bajo condiciones normales la luz puede producir voltajes de salida de 100 mV a 250 mV, pero con altos niveles de iluminación

puede llegar hasta 500 V o más. Su tiempo de respuesta dependerá de la resistencia de la carga, el nivel de iluminación y de la capacitancia de la juntura, sin embargo, los valores típicos serían 20 μ s para niveles de iluminación baja y 2 μ s para niveles altos.

4.3.4 Fotodiodos y Fototransistores

Los fotodiodos (Figura Nro. 4.22) se caracterizan por operar muy bien, ya sea como sensor fotoconductorivo o como fotovoltaico, y especialmente por poseer una relación lineal entre la corriente generada por ellos y la energía incidente. Dependen de la producción de los electrones foto-inducidos que modifican las características de la juntura del diodo, los más conocidos son los de tipo *p-n* y *p-i-n*. Estos últimos, consisten de una placa intrínseca de un material semiconductor no-dopado entre las placas p y n. Su frecuencia de respuesta es mucho mayor que la de otros dispositivos *p-n* fabricados con el mismo material.

Otros transductores de luz muy comunes, son los fototransistores (Figura Nro. 4.22). Su funcionamiento es igual que los transistores comunes, sin embargo, la corriente de base en éstos es producida por la luz incidente en la unión base/colector. Son mucho más lentos que los fotodiodos, pero resultan ser mucho más sensibles.

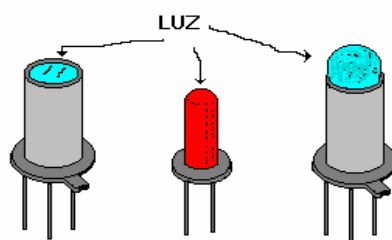


Figura Nro. 4. 22 Fotodiodos y Fototransistores

En general estos dispositivos en combinación con un LED, forman la base de los optoacopladores, que son bastante utilizados en el control de procesos. Además, se cuenta con una variante de ellos, interruptores ópticos ranurados (Figura Nro. 4.23), utilizados principalmente para el control de velocidades de motores.

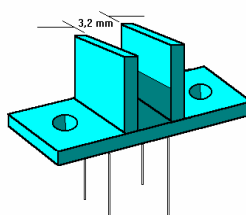


Figura Nro. 4. 23 Interruptor Optico Ranurado

4.4 Sensores de Corrientes Eléctricas Continuas Altas

En esta sección se pretende discutir algunas de las formas más comunes, utilizadas en la práctica, para sensor corrientes continuas de alto valor.

En general, la medición de estas corrientes es realizada normalmente a través de métodos indirectos, principalmente de origen magnético. Dentro de los sensores magnéticos de uso más común se puede destacar la Celdas de Efecto Hall y los Magnetómetro de bobina exploradora, quienes miden corrientes de valor intermedio entre los 500 a 1000 Amperes aproximadamente.

4.4.1 Sensores de Efecto Hall

El efecto Hall es la producción de voltaje a través de un semiconductor o conductor con corriente cuando se aplica un campo magnético externo en forma perpendicular a la dirección del flujo de la corriente. Los dispositivos basados en este fenómeno se denominan transductores de efecto Hall, Figura Nro. 4.24.

Este tipo de transductores se fabrican utilizando materiales como el bismuto y arsénico, entre otros. Su aplicación más obvia es la medición y detección de campos magnéticos, por ejemplo los producidos por imanes, líneas de transmisión de energía eléctrica, hornos microondas, etc.

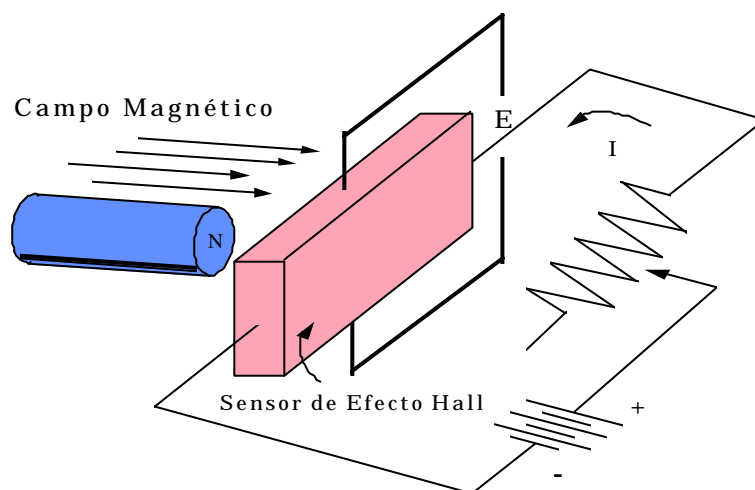


Figura Nro. 4. 24 Transductor de Efecto Hall

4.4.2 Magnetómetro de Bobina Exploradora

Este dispositivo es otro tipo de sensor magnético muy comúnmente utilizado, Figura Nro. 4.25. En este transductor, el voltaje de salida depende del número de espiras de la bobina plana y de la rapidez de cambio del campo

magnético. La bobina puede ser fija o giratoria, dependiendo si el campo es variable o estacionario.

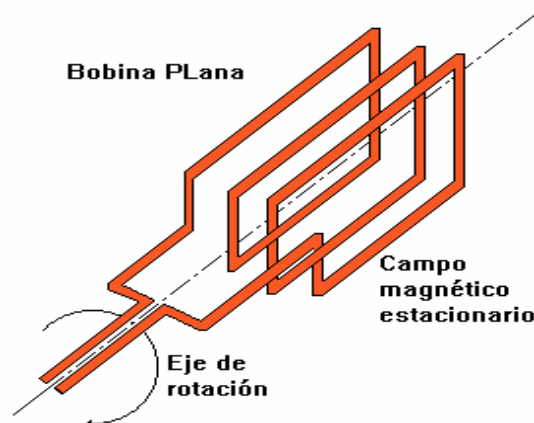


Figura Nro. 4. 25 Magnetómetro de Bobina Exploradora

4.5 Sensores de Presión

Estos tipos de transductores son capaces de convertir las variaciones de presión en variaciones de voltaje. Algunos ejemplos de este tipo de dispositivos se describen a continuación.

4.5.1 Transductor Piezoeléctrico

Estos tipos de dispositivos, basan su funcionamiento principalmente en el hecho de que ciertos materiales, como el cuarzo, la sal de Rochelle, el fosfato de amonio y el titanato de bario, son altamente sensibles a fuerzas aplicadas sobre ellos, produciendo un voltaje en los extremos del material, el que es proporcional a la presión ejercida. Este fenómeno se conoce con el nombre de **efecto piezoeléctrico**. Figura Nro. 4.26.

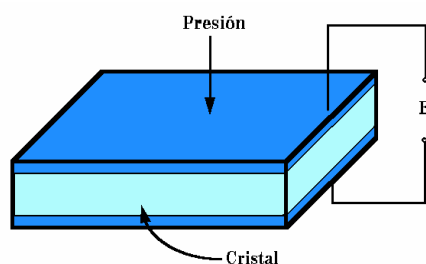


Figura Nro. 4. 26 Transductor Piezoeléctrico

El voltaje de salida de estos sensores, depende de la dirección de corte (X o Y) del cristal con respecto a los ejes del mismo. Un corte X o Y significa que una perpendicular a la cara más grande del corte está en la dirección del eje x o y del cristal.

En general este tipo de sensores no sólo se utilizan para medir presión, también pueden medir otras variables como fuerza, nivel de sonido y desplazamiento.

4.6 Sensores de Desplazamiento

Un sensor de este tipo transforma variables de desplazamiento en voltaje, permitiendo detectar el movimiento de un cuerpo cualquiera.

Existen varios métodos para detectar el desplazamiento (cambio de posición) de un cuerpo, los más comunes son el Transformador Diferencial, sensores capacitivos (ver sección 4.1.3), transductores de ionización y por último los digitales de desplazamiento angular y lineal.

4.6.1 Transductor con Transformador Diferencial, LVDT

El transformador diferencial es un dispositivo electromecánico que entrega un voltaje de salida proporcional al desplazamiento de un núcleo magnético movable. Está compuesto por 3 bobinas y un núcleo, quién se mueve libremente a través de las mismas.

Su funcionamiento se basa en el hecho de que al aplicar un voltaje externo en la bobina primaria, se induce un voltaje de polaridad opuesta en las secundarias. Por consiguiente, la salida neta del transformador será la diferencia entre estos voltajes, cuya magnitud dependerá de la posición del núcleo, siendo cero cuando éste se encuentre en el centro, o bien, en la posición cero. Figura Nro.4.27 y 4.28.

En general estos dispositivos permiten medir desde 100 micras (0,1 mm.) hasta 50 cm. o más, con una sensibilidad del orden de las 25 micras por Volts de entrada. Además, con algunas conversiones mecánicas adecuadas, estos sensores, pueden servir en la medición de fuerza y presión.

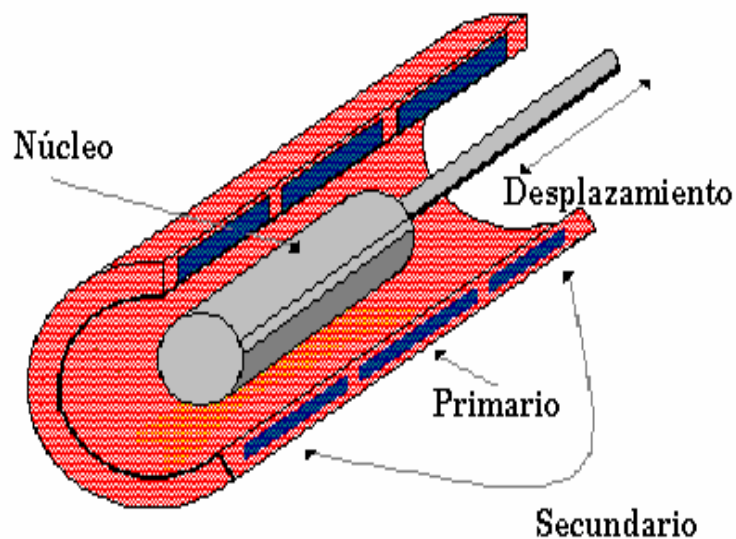


Figura Nro. 4. 27 Transformador Diferencial (LVDT)

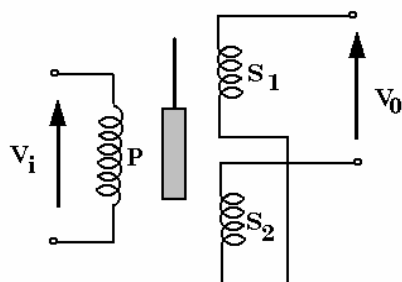


Figura Nro. 4. 28 Esquema Eléctrico del Sensor LVDT

4.6.2 Transductores de Ionización

Este tipo de sensor de desplazamiento, se utilizan en general, para mediciones que requieren gran precisión, de menos de 1 mm. hasta varias pulgadas. Está compuesto de un tubo o ampolla lleno de un gas a baja presión y dos placas metálicas conectadas a un generador de Radio Frecuencias que fluctúa entre 100 KHz y 10 Mhz (Figura Nro. 4.29), quien crea un campo eléctrico

de alta frecuencia entre ellas, ionizando el gas dentro de la ampolla y entre los electrodos del tubo produciendo un voltaje, que dependerá directamente de la posición del tubo, siendo 0 en el centro.

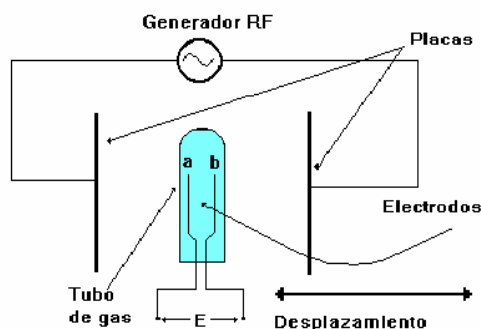


Figura Nro. 4. 29 Transductor de Ionización

4.6.3 Transductores Digitales

Otra forma de medir desplazamiento, es a través de este tipo de sensores, quienes relacionan el desplazamiento con una señal de pulsos. Por ello es necesario contar con distintos montajes de acuerdo al tipo de desplazamiento, angular (Figura Nro. 4.30) o lineal (Figura Nro. 4.31). Pero, su funcionamiento es similar, en ambos, el fotodetector genera un tren de pulsos, que es enviado a un contador, quien registrará el número de pulsos, siendo éste proporcional al desplazamiento.

La diferencia principalmente radica en como se genera el tren de pulsos, para el primer montaje, se utiliza un disco perforado, y a medida que éste gira la luz incide alternativamente en la superficie del fotodetector. En el segundo caso, se instalan pequeñas cintas reflectoras de luz en el objeto en movimiento y a

medida que éste se desplaza, las cintas reflectoras envían pulsos de luz al fotodetector.

Sin embargo, su sensibilidad dependerá del número de ranuras en los respectivos montajes, mejorando a medida que se aumenta el número de perforaciones o bandas reflectoras según sea el caso.

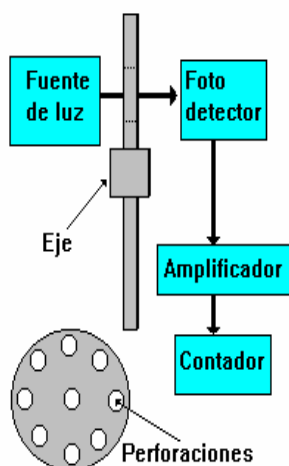


Figura Nro. 4. 30 Transductor Digital de Desplazamiento Angular

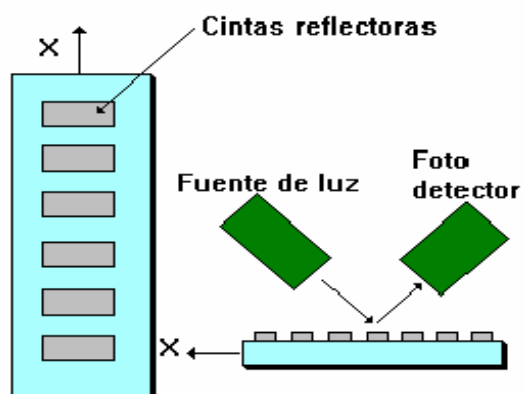


Figura Nro. 4. 31 Transductor Digital de Desplazamiento Lineal

CAPITULO IV	TRANSDUCTORES	37
4.1 Sensores de Nivel		38
4.1.1 Transductor Tipo Flotador		38
4.1.2 Transductores Sónicos		41
4.1.3 Transductores de Efecto Capacitivo		42
4.2 Transductores de Temperatura		45
4.2.1 Termoresistencias		45
4.2.2 Termocuplas		52
4.3 Sensores de Luz		57
4.3.1 Transductor Fotoeléctrico		57
4.3.2 Transductor Fotoconductor		58
4.3.3 Celdas Fotovoltaicas		59
4.3.4 Fotodiodos y Fototransistores		60
4.4 Sensores de Corrientes Eléctricas Continuas Altas		61
4.4.1 Sensores de Efecto Hall		62
4.4.2 Magnetómetro de Bobina Exploradora		62
4.5 Sensores de Presión		63
4.5.1 Transductor Piezoeléctrico		63
4.6 Sensores de Desplazamiento		64
4.6.1 Transductor con Transformador Diferencial, LVDT		65
4.6.2 Transductores de Ionización		66
4.6.3 Transductores Digitales		67

<i>Tabla IV- 1 Constantes Dieléctricas de Materiales de Uso Común</i>	44
<i>Tabla IV- 2 Características para Termoresistencias Según Material de Fabricación</i>	47
<i>Tabla IV- 3 Clasificación de Termocuplas</i>	56
<i>Figura Nro. 4. 1 Transductores de Entrada/Salida</i>	37
<i>Figura Nro. 4. 3 Sensor de Nivel Tipo Flotador</i>	39
<i>Figura Nro. 4. 4 Relación de Desplazamiento</i>	39
<i>Figura Nro. 4. 5 Sensor de Nivel Tipo Flotador con Potenciómetro</i>	40
<i>Figura Nro. 4. 6 Sensores de Nivel Sónicos. (a) Fase Líquida, (b) Fase Gaseosa</i>	42
<i>Figura Nro. 4. 7 Transductor de Efecto Capacitivo</i>	42
<i>Figura Nro. 4. 8 Dimensiones de un Sensor de Efecto Capacitivo</i>	43
<i>Figura Nro. 4. 9 Circuito Equivalente para Sensor Capacitivo</i>	43
<i>Figura Nro. 4. 10 Curvas de Resistencia vs. Temperatura para Termoresistencias</i>	48
<i>Figura Nro. 4. 11 Tipos de Termistores</i>	49
<i>Figura Nro. 4. 12 Circuito Tipo Divisor de Tensión</i>	50
<i>Figura Nro. 4. 13 Circuito Puente de Wheatstone</i>	50
<i>Figura Nro. 4. 14 Tipos de Termocuplas</i>	52
<i>Figura Nro. 4. 15 Principio del Funcionamiento de una Termocupla</i>	53
<i>Figura Nro. 4. 16 Tipos de Uniones de Termocuplas</i>	54
<i>Figura Nro. 4. 17 Funcionamiento de Termocupla Temperatura de Referencia</i>	55
<i>Figura Nro. 4. 18 Curvas Características de Termocuplas</i>	56
<i>Figura Nro. 4. 19 Circuito con Transductor Fotoeléctrico</i>	58
<i>Figura Nro. 4. 20 Circuito con Transductor Fotoconductor</i>	58
<i>Figura Nro. 4. 21 Celda Fotoconductor o LDR</i>	59

<i>Figura Nro. 4. 22</i>	<i>Celda Fotovoltaica</i>	<i>59</i>
<i>Figura Nro. 4. 23</i>	<i>Fotodiodos y Fototransistores</i>	<i>61</i>
<i>Figura Nro. 4. 24</i>	<i>Interruptor Optico Ranurado</i>	<i>61</i>
<i>Figura Nro. 4. 25</i>	<i>Transductor de Efecto Hall</i>	<i>62</i>
<i>Figura Nro. 4. 26</i>	<i>Magnetómetro de Bobina Exploradora</i>	<i>63</i>
<i>Figura Nro. 4. 27</i>	<i>Transductor Piezoeléctrico</i>	<i>64</i>
<i>Figura Nro. 4. 28</i>	<i>Transformador Diferencial (LVDT)</i>	<i>66</i>
<i>Figura Nro. 4. 29</i>	<i>Esquema Eléctrico del Sensor LVDT</i>	<i>66</i>
<i>Figura Nro. 4. 30</i>	<i>Transductor de Ionización</i>	<i>67</i>
<i>Figura Nro. 4. 31</i>	<i>Transductor Digital de Desplazamiento Angular</i>	<i>68</i>
<i>Figura Nro. 4. 32</i>	<i>Transductor Digital de Desplazamiento Lineal</i>	<i>68</i>