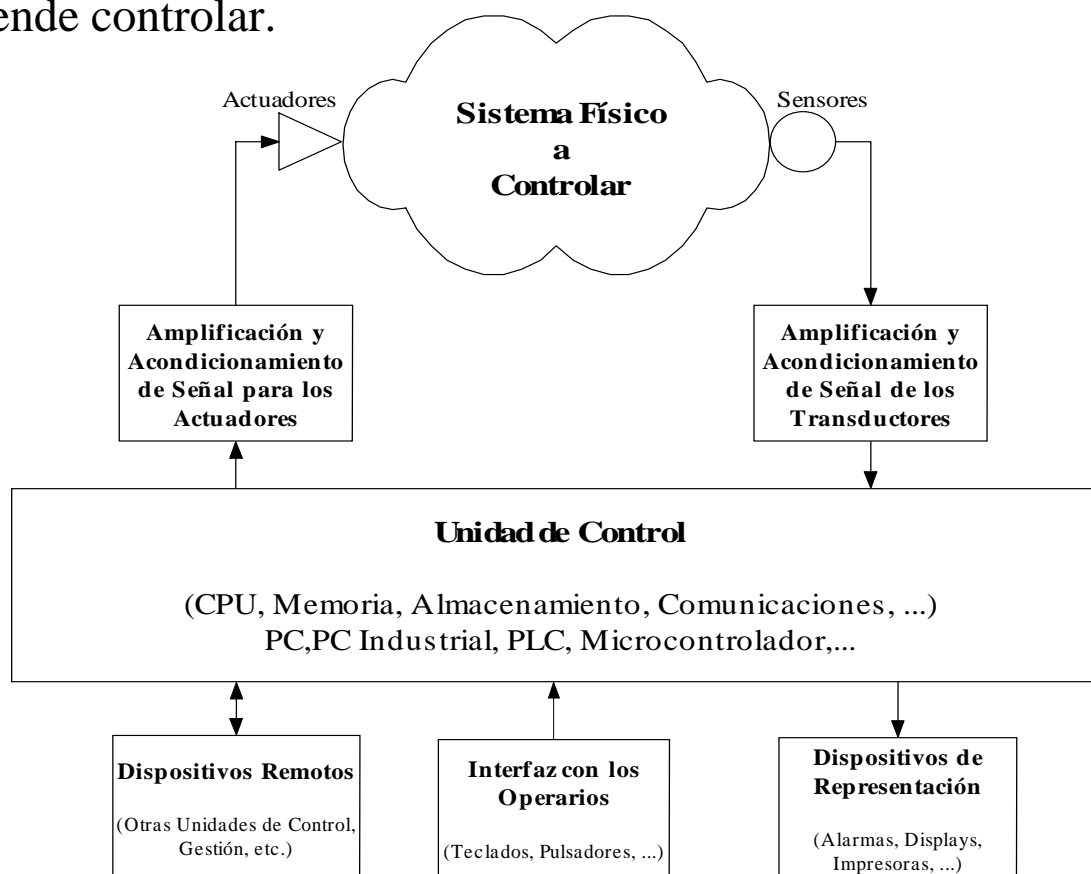


Introducción

Sistema.- Conjunto de dos o más elementos interconectados entre sí para formar un todo unificado que tiene por objeto realizar una o varias funciones.

Sistema de Medida y Control.- Sistema que realiza funciones de medición de magnitudes físicas, químicas, biológicas, ... procesando esta información para regular el funcionamiento del sistema físico que pretende controlar.





Sensor.- Elemento primario que realiza la transducción.

Transductor.- Dispositivo que transforma una magnitud física (mecánica, térmica, magnética, eléctrica, óptica, etc.) en otra magnitud, normalmente eléctrica. Es un dispositivo más complejo ya que puede incluir amplificadores, acondicionadores de señal, conversor A/D, etc.

Acondicionamiento de Señal.- Reciben la señal de salida de los transductores y la preparan de forma que sea apta para usos posteriores (PLC, PC Industrial, Conversor A/D,...). El acondicionamiento de salida suele estar constituido por un amplificador de potencia.

Conversor A/D.- Adapta la señal para su utilización por sistema digital. Se realiza en dos etapas:

- Cuantificación: Representa la magnitud de la señal mediante un n° finito de valores.
- Codificación: Representa el valor mediante un código determinado.

Transmisión de Datos y Órdenes.- Envía los datos al sistema de control. Hay multitud de métodos: analógicos o digitales, por línea directa o por bus, por red, o incluso a través Internet.

Procesado.- Determinación de las actuaciones que se amplificarán al sistema físico.

Visualización y Registro.- Datos importantes, alarmas, gestión, etc. y registro para análisis posterior.

Conversión D/A.- Dependiendo del actuador podrá ser necesario una conversión previa.

Actuación.- Dispositivo que realiza una conversión de energía para modificar el estado del sistema a controlar.



Tipos de Sistemas de Medida y Control:

a) En función de la Naturaleza de las Señales:

- **Analógico:** Controlador analógico, normalmente electrónico. Veloces y robustos. Imposible implementar controladores complejos.
- **Digitales:** Normalmente un PC Industrial o un PLC. Son muy eficientes y pueden resolver problemas complejos. Permite usar visualizadores y sistemas de almacenamiento masivo.
- **Híbrido:** Intentan mezclar las ventajas de ambos tipos, velocidad y robustez de los analógicos junto con la versatilidad y potencia de cálculo de los digitales. Suelen basarse en la jerarquización del problema.

b) En función del Bucle de Control:

- **Bucle Abierto:** No existe realimentación con el sistema, por lo que no se ajusta el control. Monitorización o Registro, no para controlar.
- **Bucle Cerrado:** Se comparan las medidas de los transductores con una referencia y la discrepancia determina la actuación.

c) En función de la Distribución del Sistema:

- **Centralizado:** Procesamiento y Control en un único elemento al que llegan todas las medidas y del que parten todas las actuaciones.
- **Descentralizado:** Procesado en varios elementos coordinados entre sí, por sectores, zonas,...
- **Distribuido:** Descentralización mayor, la comunicación resulta fundamental.

Características Estáticas de los Transductores (I)

- Exactitud o Precisión (Accuracy)

Capacidad de dar indicaciones que se aproximen al verdadero valor de la magnitud medida.

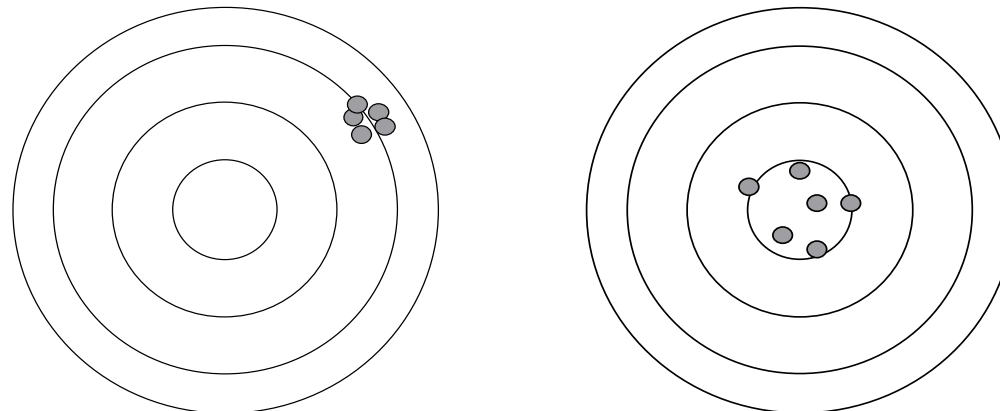
- Repetibilidad (Reapeatibility)

Mismo concepto que la fidelidad, pero las medidas se realizan en un corto espacio de tiempo.

$$\text{Repetibilidad} = 2 \sqrt{\frac{S_i - S_n}{N}} \quad \left\{ \begin{array}{l} S_i \rightarrow \text{Lecturas Individuales} \\ S_n \rightarrow \text{Media de las lecturas} \\ N \rightarrow \text{Número total de lecturas} \end{array} \right.$$

- Fidelidad (Precision)

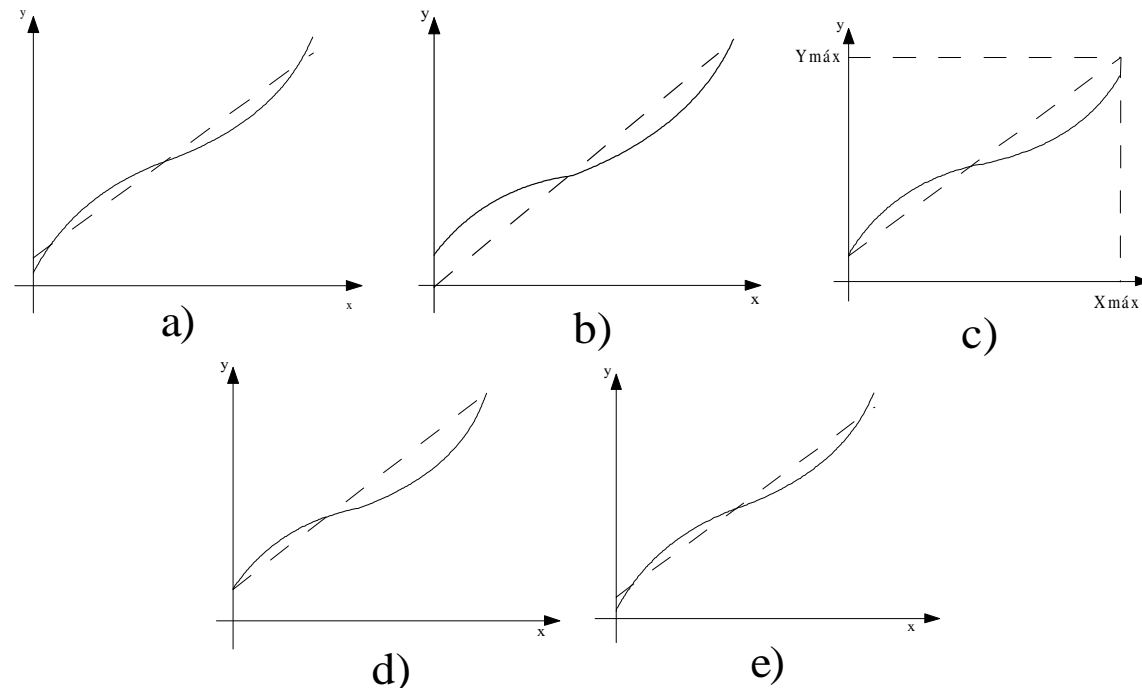
Capacidad de dar el mismo valor de la magnitud al realizar varias mediciones en las mismas condiciones.



Características Estáticas de los Transductores (II)

- **Linealidad** (Linearity)

- a) Independiente.- La Recta se define mediante el método de los Mínimos Cuadrados.
- b) Ajustada a Cero.- Se utiliza el método de los Mínimos Cuadrados, pero pasando por Cero.
- c) Terminal.- Según la respuesta teórica del transductor con la mínima y máxima entrada admisible.
- d) A través de los Extremos.- Según la respuesta real del transductor con la mínima y la máxima entrada admisible.
- e) Teórica.- En función de las previsiones de diseño.



Características Estáticas de los Transductores (III)

- Sensibilidad (Sensitivity)

- Pendiente de la curva de calibración del transductor.

$$S_{xp} = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x = xp}$$

Deseable: Alta sensibilidad y constante.

Transductores Activos: $\frac{\text{Magnitud Eléctrica}}{\text{Magnitud Física}}$

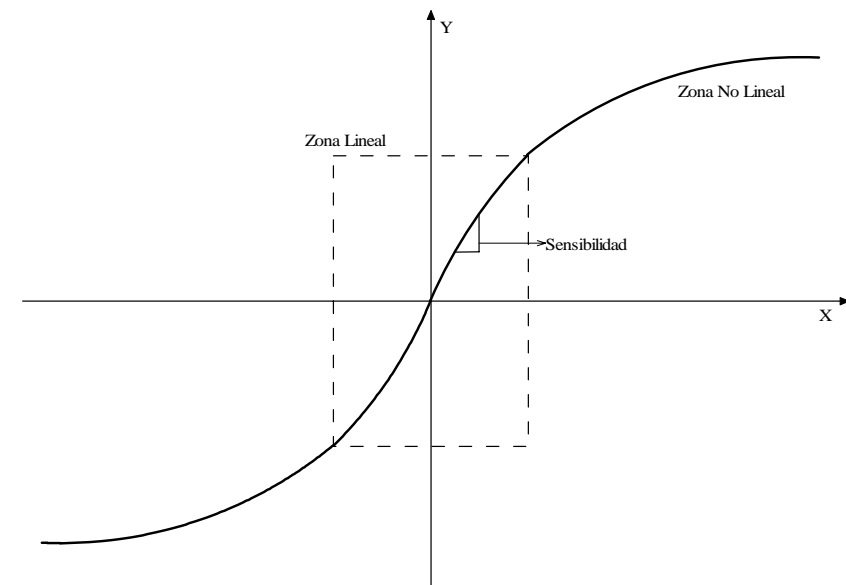
Transductores Pasivos: $\frac{\text{Salida a Fondo de Escala}}{\text{Tensión de Alimentación}}$

- Resolución (Resolution)

Variación más débil de la magnitud física capaz de detectar el transductor

- Rango (Range)

Límites superior e inferior entre los cuales puede realizarse la medida.



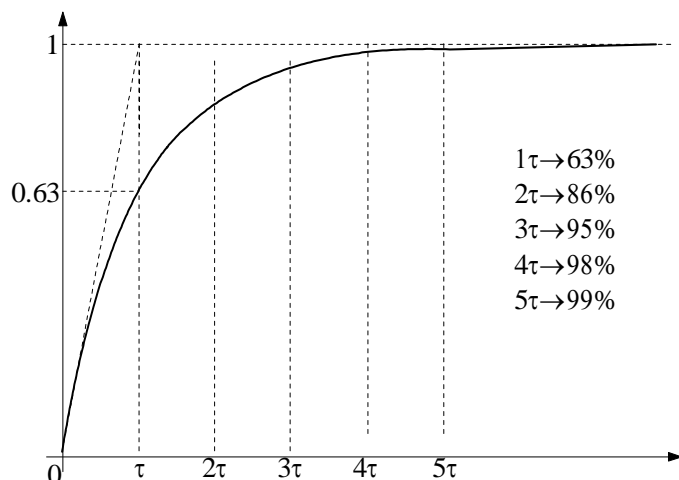


Características Dinámicas de los Transductores (I)

- **Error Dinámico.**- Diferencia entre el valor indicado y el real, siendo nulo el error estático.
- **Velocidad de Respuesta.**- Rapidez con la que responde a los cambios en la variable de entrada.
- **Tiempo de Subida (Rise Time) t_r .**- Tiempo transcurrido desde que la salida tiene el 10% de su valor final hasta que esta alcanza el 90% de dicho valor. En los sistemas subamortiguados es el tiempo que tarda el sistema en llegar por primera vez a su valor final.
- **Tiempo de Establecimiento (Settling Time) t_s .**- Tiempo que se requiere para que la salida esté acotada dentro del 2 ó 5 % del valor final, según el criterio que se adopte.
- **Sobreimpulso (Overshoot) M_p .**- Valor máximo que sobrepasa la salida a su valor final.

Características Dinámicas de los Transductores (II)

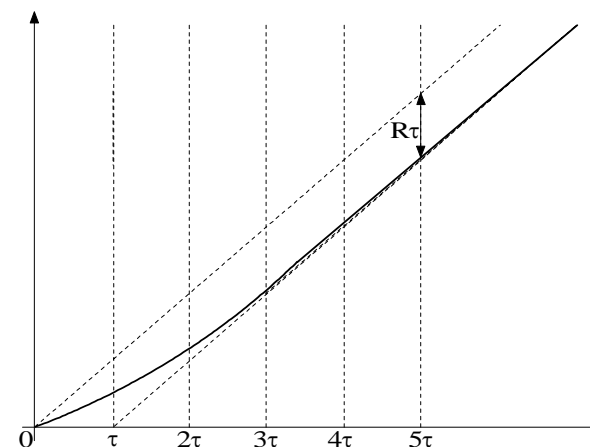
- **Sistemas de Orden Cero:** $y(t) = Kx(t) \Rightarrow S = \frac{dy}{dx} = K$



Respuesta a entrada escalón de un sistema de 1^{er} orden

- **Sistemas de Orden Uno:**

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$



Respuesta a entrada rampa de un sistema de 1^{er} orden

| Entrada | Error Dinámico | Retardo |
|------------------------------|--|---|
| Escalón=1 | 0 | τ |
| Rampa= Rt | $R\tau$ | τ |
| Senoidal= $A \sin(\omega t)$ | $1 - \frac{1}{\sqrt{(1 + \omega^2 \tau^2)}}$ | $\frac{\text{atan}(\omega \tau)}{\omega}$ |

| Entrada | Salida |
|-----------------------|--|
| Escalón, $u(t)$ | $k(1 - e^{-t/\tau})$ |
| Rampa, Rt | $Rkt - Rk\tau u(t) + Rk\tau e^{-t/\tau}$ |
| Senoidal, A, ω | $\frac{kA\tau\omega e^{-t/\tau}}{1 + \tau^2 \omega^2} + \frac{kA}{(1 + \tau^2 \omega^2)^{1/2}} \text{sen}(\omega t + \theta)$ $\theta = \arctan(-\omega\tau)$ |

Características Dinámicas de los Transductores (III)

- Sistemas de Orden Dos:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0} = \frac{1/a_2}{s^2 + \frac{a_1}{a_2} s + \frac{a_0}{a_2}} = \frac{K \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}$$

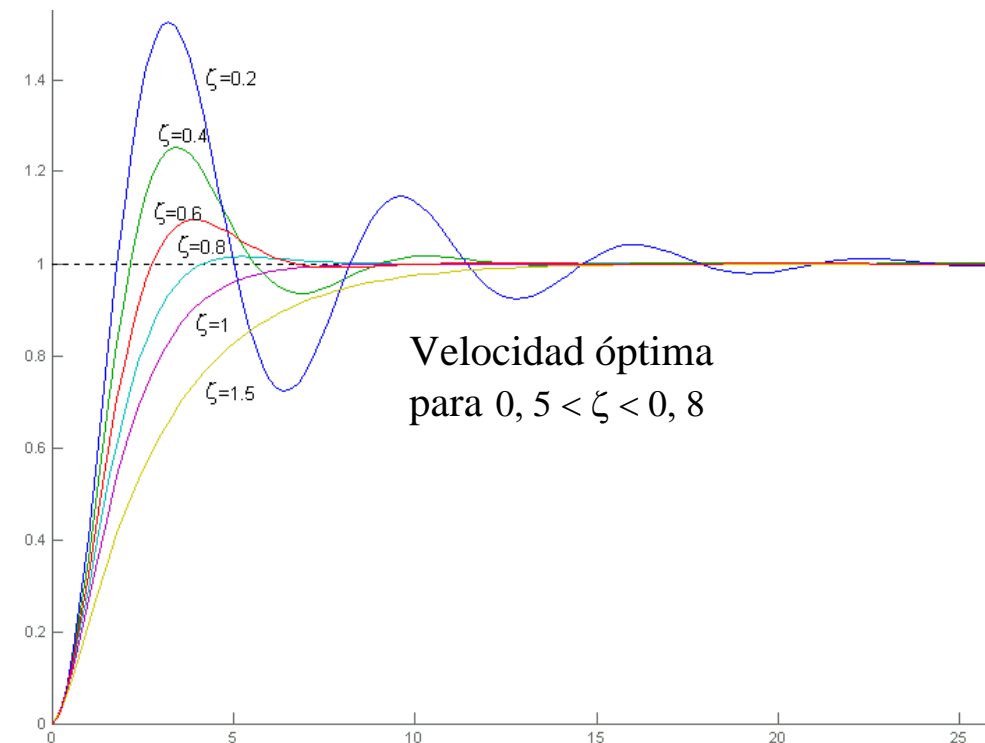
$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_n = \sqrt{\frac{a_0}{a_2}} \text{.- Frec. Natural del Sistema} \\ K = 1/a_0 \text{.- Sensibilidad Estática} \\ \zeta = \frac{a_1}{2\sqrt{a_0 a_2}} \text{.- Coef. de Amortiguamiento} \end{array} \right.$$

Caso Subamortiguado ($0 < \zeta < 1$)

- $t_{s(2 \text{ ó } 5\%)} = \frac{4 \text{ ó } 3}{\zeta \omega_n}$.- Tiempo de Establecimiento
- $M_p = e^{-(\sigma/\omega_d)\Pi} = e^{-(\zeta\Pi)/(\sqrt{1-\zeta^2})}$.- Sobreimpulso
- $t_r = \frac{\Pi - \beta}{\omega_d}$.- Tiempo de Subida
- $t_p = \frac{\Pi}{\omega_d}$.- Tiempo de Pico

Siendo:

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}, \cos \beta = \zeta \text{ y } \sigma = \zeta \omega_n$$





Otras Características: Impedancia de Entrada

Si las variables son mecánicas se definen:

Variables Esfuerzo X_1 .- Se miden en un punto o región del espacio. (Ej. fuerza)

Variables Flujo X_2 .- Se miden entre dos puntos o regiones del espacio (Ej. velocidad)

Si las variables no son mecánicas se definen:

Variables Esfuerzo X_1 .- Se miden entre dos puntos o regiones del espacio (Ej. tensión)

Variables Flujo X_2 .- Se miden en un punto o región del espacio. (Ej. corriente)

$$Z(s) = \frac{X_1(s)}{X_2(s)} = \frac{1}{Y(s)}$$

- Se tendrá un error por carga mínimo si $Z(s)$ es lo más *alta posible* (la potencia $P = X_1 X_2$, es mínima)



Errores en las Medidas (I)

Se producen en todas las fases del sistema (transducción, acondicionamiento, conversión, control, etc.)

$$\text{Error Absoluto} = \text{Resultado Medida} - \text{Valor Verdadero}$$

$$\text{Error Relativo} = \frac{\text{Error Absoluto}}{\text{Valor Verdadero}}$$

Ejemplo.- Un sensor de temperatura debería proporcionar una tensión de salida de 0V a 0°C y de 20mV a 100°C. Al hacer la medida a 10°C se obtienen 1.03mV. Calcular el error absoluto, relativo y a fondo de escala cometidos por el sensor.

Para la 1ª medida:

$$\text{Error Absoluto} = 2 - 1,03 = 0,97mV$$

$$\text{Error Relativo} = \frac{0,97}{2} \times 100\% = 48,5\%$$

$$\text{Error a Fondo de Escala} = \frac{0,97}{20} \times 100\% = 4,85\%FE$$

- Muchos errores son evitables implementando el sistema de instrumentación y control correctamente.



Naturaleza de los Errores:

- Errores Sistemáticos:

- Operario.
- Método de toma de medidas y circunstancias en las que se realizan.
- Se pueden corregir durante la calibración.
- Se reproducen al realizar varias medidas en las mismas condiciones.
- Deben eliminarse en primer lugar, realizando una buena calibración.

- Errores del Sistema:

- Cambio de las condiciones de funcionamiento de los sensores.
- Cambios del entorno (humedad, temperatura, polvo,...).
- Cambios del sistema (fricciones, no linealidades, roturas,...).
- Es necesario monitorizar el sistema adecuadamente para su detección (media y rango de las medidas).

- Errores Aleatorios:

- Se producen de forma fortuita.
- Son inevitables.
- Siguen un patrón aleatorio (su media en el tiempo es nula).
- Pueden evitarse realizando varias medidas (herramientas estadísticas).

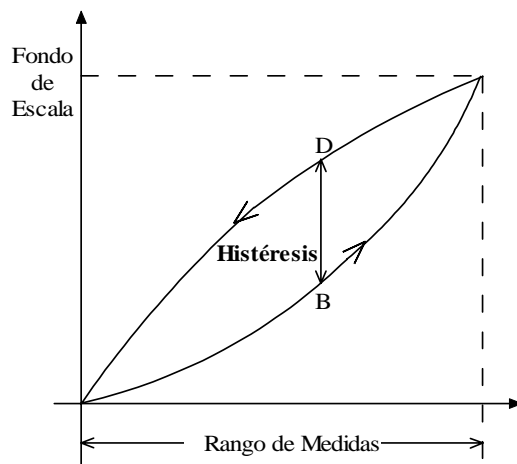
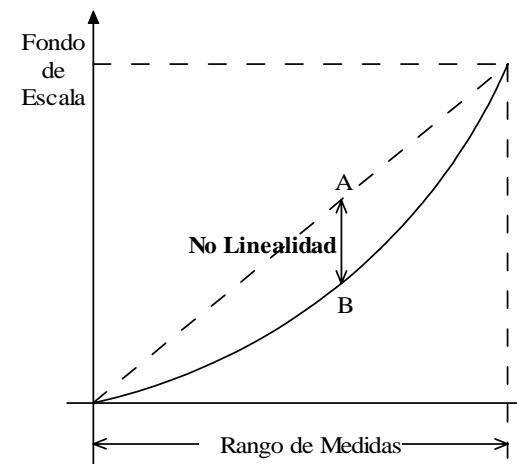
- Calibración:

- 1) Eliminar los errores sistemáticos (varias medidas en las mismas circunstancias).
- 2) Calibrar realizando varias medidas (se anulan los errores aleatorios).

Errores Característicos de los Transductores y Sistemas de Medida (I)

- **No Linealidad.**- Máxima desviación de la curva característica respecto a la línea recta que une el cero y el fondo de escala, en tanto por ciento.

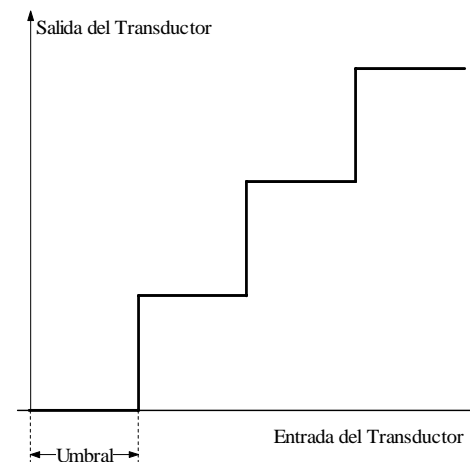
$$\text{No Linealidad} = \frac{100 \text{ AB}}{\text{Valor a Fondo de Escala}}$$



- **Histéresis.**- Máxima diferencia entre las salidas correspondientes a un punto de las magnitudes crecientes y decrecientes entre el cero y el fondo de escala, expresada en % del valor de fondo de escala.

$$\text{Histéresis} = \frac{100 \text{ DB}}{\text{Valor a Fondo de Escala}}$$

- **Umbral.**- Mínima variación del estímulo de entrada del transductor capaz de generar una variación en la salida del mismo.

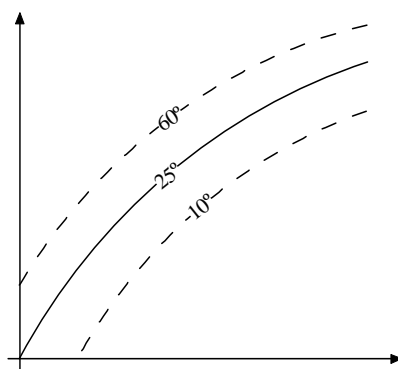


Errores Característicos de los Transductores y Sistemas de Medida (II)

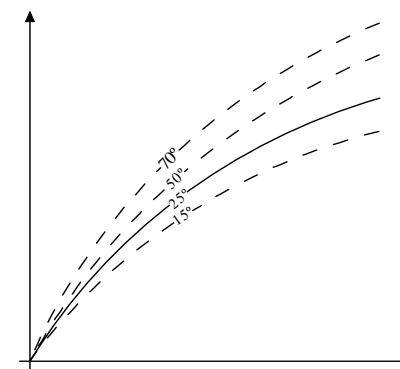
- **Deriva Térmica de Cero.**- Mayor salida que se obtiene a lo largo de todo el rango de temperaturas de operación, cuando el transductor debería dar salida nula (o un valor prefijado como 4mA).

$$\text{Deriva Térmica de Cero} = \frac{100(V_{T_a} - V_{T_{op}})_{max}}{\text{Valor a Fondo de Escala}} \left\{ \begin{array}{l} (V_{T_a} - V_{T_{op}})_{max} \rightarrow \text{máxima diferencia, en voltios, entre las} \\ \text{lecturas a } T^a \text{ ambiente y a la máxima de operación,} \\ \text{positiva o negativa, tomadas a salida cero.} \end{array} \right.$$

- **Deriva Térmica de Fondo de Escala (*span*).**- Análoga a la anterior, siendo ahora $(V_{T_a} - V_{T_{op}})_{max}$ la máxima diferencia, en voltios, existente entre las lecturas a T^a ambiente y a la máxima de operación (la más desfavorable), tomadas con salida a fondo de escala con el máximo valor de carga permitido.



Deriva Térmica de Cero



Deriva Térmica de Fondo de Escala

- **Deriva Térmica Total.**- Mayor de las anteriores. Es el que suele aparecer en las hojas de características.

- **Otros Errores.**- Definen la calidad de los transductores, como la sensibilidad, la estabilidad a corto y largo plazo, el tiempo de recuperación, etc.

Evaluación Estadística de Medidas y Errores

- **Valor Medio.-** Media aritmética de todas las medidas. Más medidas implican un valor más exacto.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n}$$

- **Desviación del Valor Medio.-** Indica cuánto se desvía un valor del valor medio.

$$d_i = x_i - \bar{x}$$

- **Desviación Media.-** Implica precisión.

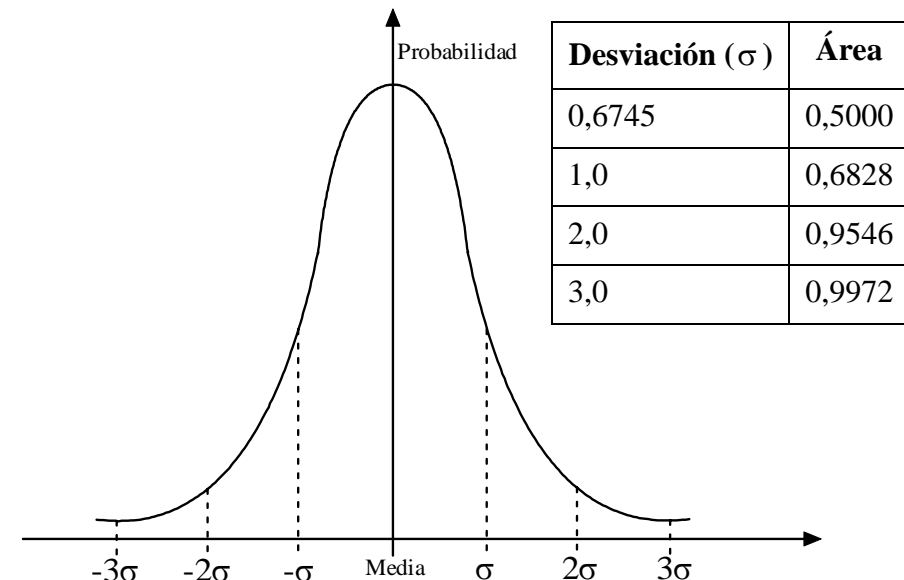
$$D = \frac{\sum_{i=1}^n |d|}{n}$$

- **Desviación Estándar.-** Desviación cuadrática media (RMS). Es la forma más usual de representar el error de una medida, y refleja la dispersión de los datos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-1}}$$

- **Varianza.-** σ^2 .

- **Probabilidad de Error, Dist. Gausiana.-** Frecuencia con la que un error se produce:



- **Errores Límite o Garantizados.-** Zona de garantía (% fondo de escala). Tolerancia



Introducción

- **Sensores.**- Interactúan con el sistema físico tomando medidas del mismo
 - Sensor.- Dispositivo que a partir de la energía del medio proporciona una señal de salida función de la magnitud que pretende medir.
 - Transductor.- Dispositivo que transforma una magnitud física en otra, normalmente eléctrica. Puede incluir acondicionadores de señal, A/D, filtros,...
- **Actuadores.**- Modifican el sistema físico.

| Magnitud Física | Transductor | Características |
|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Posición (Lineal o Angular) | Potenciómetro | Analógico |
| | Encoder | Digital |
| | Sincro y Resolver | Analógico |
| Pequeños desplazamientos | Transformador diferencial | Analógico |
| | Galga Extensiométrica | Analógico |
| Velocidad (Lineal o Angular) | Dinamo tacométrica | Analógico |
| | Encoder | Digital |
| | Detector inductivo u óptico | Digital |
| Aceleración | Acelerómetro | Analógico |
| | Sensor de velocidad + calculador | Digital |
| Fuerza y Par | Galga Extensiométrica | Analógico |
| Temperatura | Termopar | Analógico |
| | Resistencias PT100 | Analógico |
| | Termistores CTN | Analógico |
| | Termistores CTP | Todo-Nada |
| | Bimetales | Todo-Nada |
| Sensores de Presencia o Proximidad | Inductivos | Analógico o Todo-Nada |
| | Capacitivos | Todo-Nada |
| | Ópticos | Analógico o Todo-Nada |



Efectos Físicos Utilizables en Transductores

- Todos aquellos efectos físicos que provoquen un cambio en alguna característica de un material o dispositivo. Principalmente los que produzcan cambios en las características eléctricas.

- **Generación de Tensión o Intensidad**

- La magnitud física provoca la generación de V o I en el dispositivo, sin necesidad de alimentación externa.

- **Variación de la Resistencia**

- Resistencia.- Medida de la oposición del dispositivo a ser atravesado por una corriente eléctrica.

$$R = \sigma \cdot \frac{l}{S} = \frac{l}{\rho S} \left\{ \begin{array}{l} \sigma = \text{Conductividad} \\ \rho = \frac{1}{\sigma} = \text{Resistividad} \end{array} \right.$$

- **Variación de la Capacidad**

- Dos conductores separados por un dieléctrico constituyen un Condensador.

$$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d} \{ \varepsilon = \text{Constante Dieléctrica} \}$$

- **Variación de la Inductancia**

- Inductancia.- Magnitud del flujo magnético (Φ) que atraviesa el dispositivo cuando circula por él una corriente (I).

$$L = N \cdot \frac{d\Phi}{di}$$



Clasificación de los Sensores

- **Según Requieran Alimentación Externa**

- Moduladores o Pasivos
 - Resistivos
 - Capacitivos
 - Inductivos
 - Electromagnéticos
- Generadores o Activos
 - Efecto Termoeléctrico
 - Efecto Piezoeléctrico
 - Efecto Piroeléctrico
 - Efecto Fotovoltáico

- **Según el Modo de Funcionamiento**

- Deflexión
- Comparación

- **Transductores Modificadores**

- Sensores Primarios

- **Transductores Monolíticos**

- **Según el Parámetro Variable**

- Resistivos
- Capacitivos
- Inductivos
- De Tensión
- De corriente,...

- **Según sea la Señal de Salida**

- Analógicos
- Digitales
- Todo-Nada

- **Según la Magnitud a Medir**

- Posición
- Velocidad
- Temperatura
- Fuerza o Par
- Nivel
- Presión,...

Clasificación Según Requieran Alimentación Externa (I)

• Moduladores o Pasivos (I)

- Se modifica un parámetro eléctrico
- Requieren alimentación externa

- **Resistivos**.- $R = \sigma \cdot \frac{l}{S}$

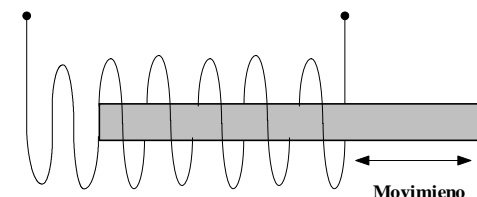
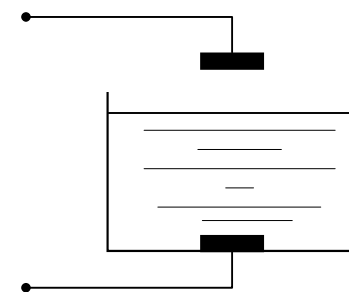
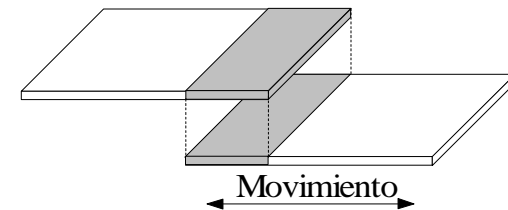
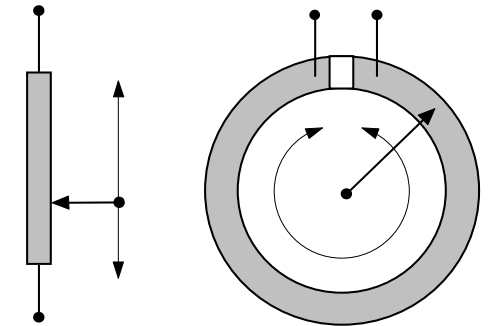
- Económicos
- Ejemplos: Potenciómetros, Galgas, RTDs, Termistores,...

- **Capacitivos**.- $C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d}$

- Precisos, mínimo error de carga, pero no lineales
- Ejemplos: Transductores de Posición, Nivel, Fuerza,...

- **Inductivos**.- $L = N \cdot \frac{d\Phi}{di}$

- Sensibles, resistentes a la humedad, afectados C. Magnéticos
- Ejemplos: Transductores de Posición, Detectores de Presencia,...

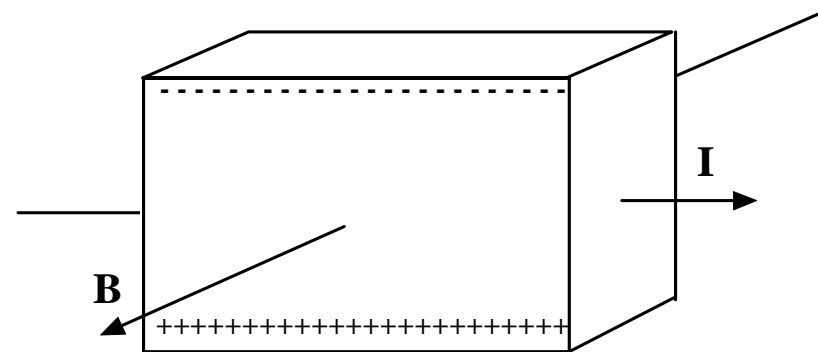
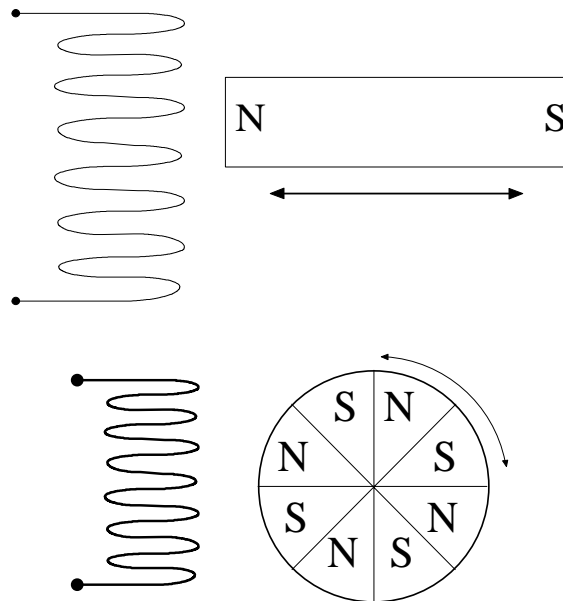


Clasificación Según Requieran Alimentación Externa (II)

• Moduladores o Pasivos (II)

- Electromagnéticos.-

- Ley de Faraday.- Al variar el flujo sobre una bobina (intensidad o movimiento del núcleo) se induce una tensión en sus extremos
- Efecto Hall.- Si circula una corriente por un conductor y existe un campo magnético perpendicular a esta, aparece una diferencia de potencial transversal al conductor.
- Ejemplos: Transductores de Desplazamientos, Presencia,...

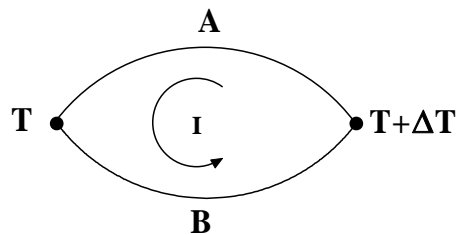


Clasificación Según Requieran Alimentación Externa (III)

• Generadores o Activos (I)

- Generan una señal eléctrica a partir de la magnitud física sin necesidad de alimentación externa

- Efecto Termoeléctrico.-

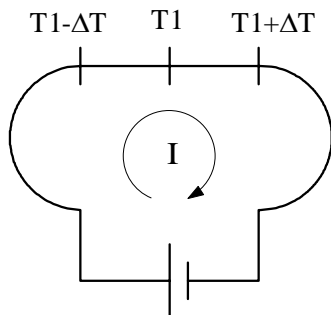


- Efecto Seebeck.- En un circuito con dos metales distintos y homogéneos con dos uniones a distinta temperatura, aparece una corriente eléctrica o una fuerza termo-electro-motriz (f.t.e.m.) si se abre el circuito.

$$S_{AB} = S_A - S_B = \frac{dE_{AB}}{dT}$$

- Efecto Peltier.- La una unión de dos metales distintos se calienta o enfría al ser atravesada por una corriente eléctrica, según el sentido de ésta. El calentamiento o enfriamiento de la unión no depende de la forma de los metales, si no de sus propiedades.

$$dQ_p = \pm \pi_{AB} \cdot I \cdot dT \{ \pi_{AB} = -\pi_{BA}$$



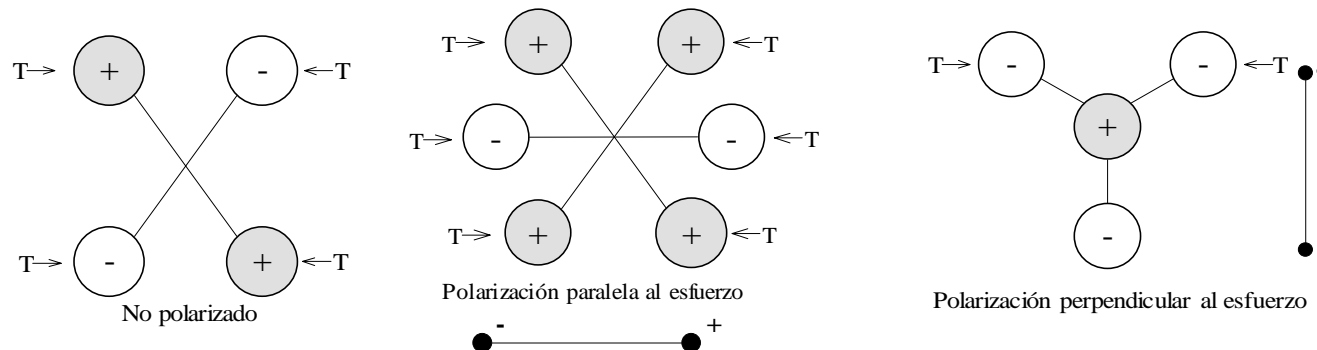
- Efecto Thomson.- Un conductor homogéneo expuesto a una temperatura no homogénea, absorbe o libera calor cuando circula por él una corriente eléctrica. El calor liberado o absorbido es proporcional a la corriente que circula por él.

Clasificación Según Requieran Alimentación Externa (IV)

• Generadores o Activos (II)

- Efecto Piezoeléctrico.-

- En materiales Anisótropos aparece una polarización eléctrica al ser sometidos a un esfuerzo
- Ventajas: Muy sensibles, económicos y rápidos.
- Inconvenientes: Sensibles a la Temperatura, alta resistencia eléctrica, el efecto desaparece con esfuerzos constantes.
- Ejemplos: Transductores de Fuerza y Presión



- Efecto Piroeléctrico.-

- Cuando un material experimenta un cambio de temperatura, aparecen cargas superficiales en una dirección determinada. (Medición de flujos térmicos)

- Efecto Fotovoltáico.-

- Cuando una radiación ioniza una zona en la existe una barrera de potencial, se genera un potencial eléctrico. (Fotodiodos y fototransistores)



Clasificación Según el Modo de Funcionamiento

- Funcionamiento por Deflexión.-

- La magnitud medida produce un efecto físico que ocasiona una reacción en el sensor, asociada a una variable útil fácilmente medible.
- Ejemplos: Potenciómetros, galgas, NTCs, RTDs,...

- Funcionamiento por Comparación.-

- Se compara la variable a medir con otra conocida (referencia de medida).
- El Detector de Desequilibrio proporcionará la medida del transductor.
- Ejemplos: Balanza, Tubo en U para medida de presión,...

Clasificación Según el Parámetro Variable

- Según qué parámetro físico utilice el transductor para realizar la medida se distinguen:
 - Transductores Resistivos
 - Transductores Inductivos
 - Transductores Capacitivos
 - Transductores de Tensión
 - Transductores de Corriente
- Clasificación muy útil para el estudio de los Acondicionadores de Señal.



Clasificación Según la Señal de Salida

- Analógicos.-

- La salida del transductor es un nivel de tensión o intensidad que varía de forma continua con la variable a medir dentro del rango de medida del transductor.
- Los valores normalizados son 0-10 V y 4-20 mA

- Digitales.-

- La salida está codificada mediante un código binario o en forma de pulsos.
- Código Binario Natural, BCD, Gray,...

- Todo-Nada.-

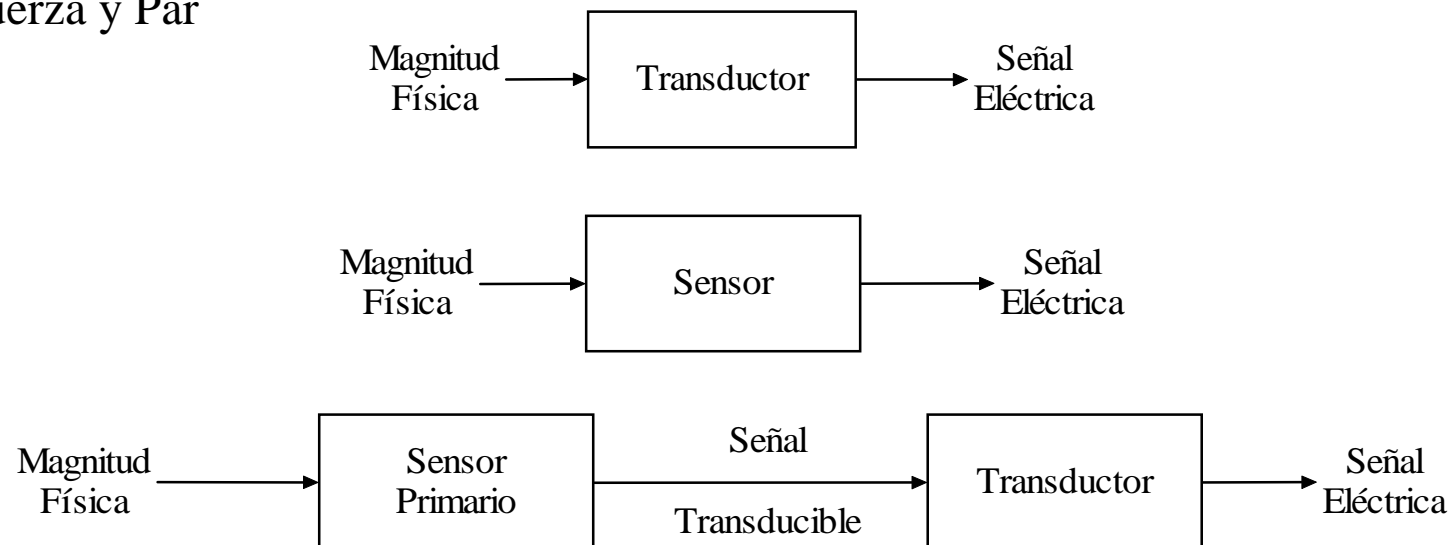
- Caso particular de los Transductores Digitales.
- La salida sólo puede presentar dos estados: activa o no activa.
- Ejemplo: Detectores de Presencia.

Clasificación Según la Magnitud a Medir

- | | |
|---------------|---------------|
| - Posición | - Nivel |
| - Velocidad | - Presión |
| - Aceleración | - Flujo |
| - Temperatura | - Caudal |
| - Fuerza | - Luminosidad |
| - Par | - ... |

Transductores Modificadores (I)

- La magnitud a medir no es transducible directamente a una señal eléctrica.
- Se utilizan **Sensores Primarios** para transducir esta magnitud a otra magnitud que sí es transducible a una señal eléctrica.
- Los Sensores Primarios se clasifican en función de la señal que detectan:
 - Temperatura (Bimetales)
 - Presión
 - Flujo y Caudal
 - Nivel
 - Fuerza y Par



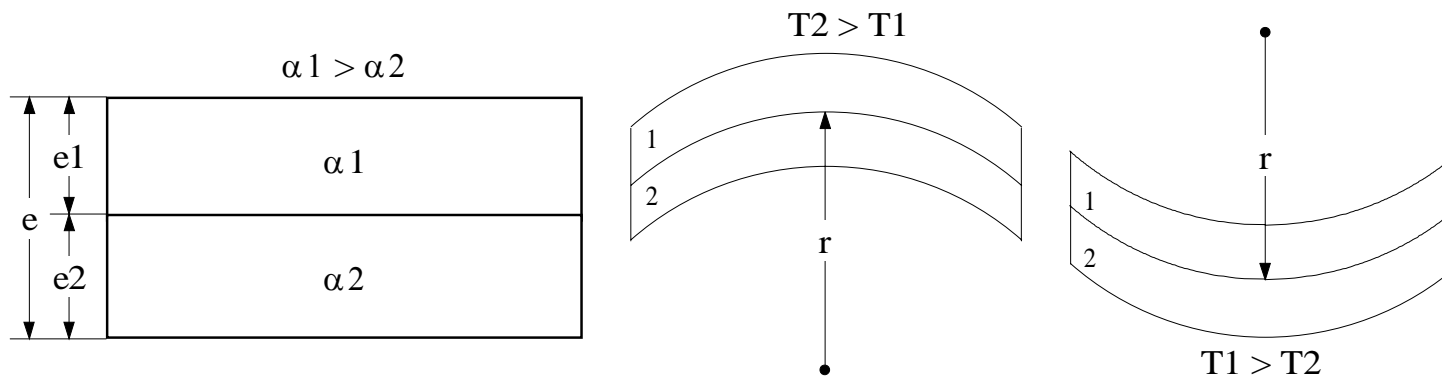
Transductores Modificadores (II)

• Sensores Primarios de Temperatura: Bimetales

- **Bimetal.**- Pieza formada por dos metales con distinto coeficiente de dilatación térmica.

- Rango de utilización: -75 °C hasta 540 °C, principalmente entre 0 °C y 300 °C.
- Principal utilización como protección de circuitos (funcionamiento por efecto Joule)
- Con un transductor de posición se obtendría una señal eléctrica proporcional a la T^a .

$$r \approx \frac{2e}{3(T_2 - T_1)(\alpha_1 - \alpha_2)}$$

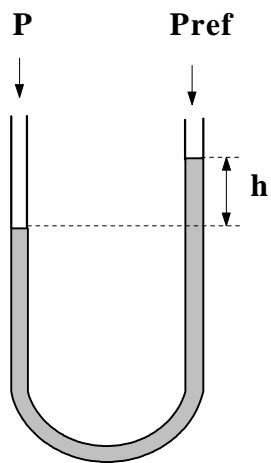


Transductores Modificadores (III)

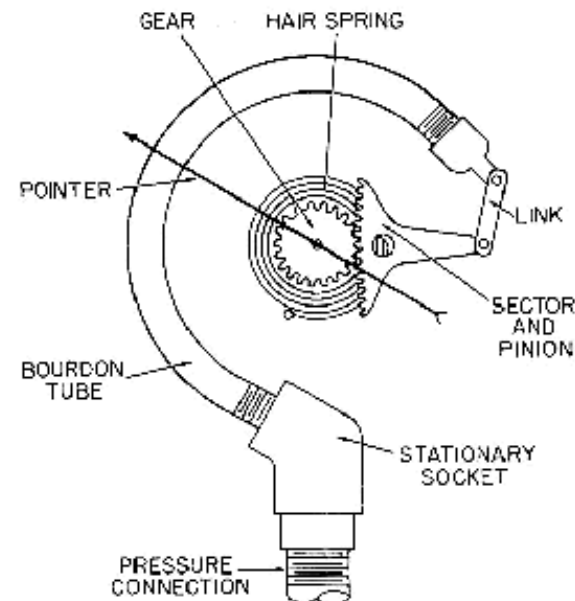
• Sensores Primarios de Presión

- Comparación con una Presión Conocida.-

- La diferencia entre la presión a medir y la presión conocida, provoca un desplazamiento del líquido.



$$h = \frac{P - Pref}{\rho \cdot g}$$



- Efecto de la Presión en un Elemento Elástico.-

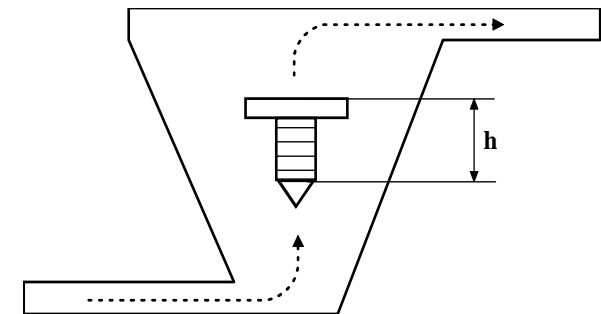
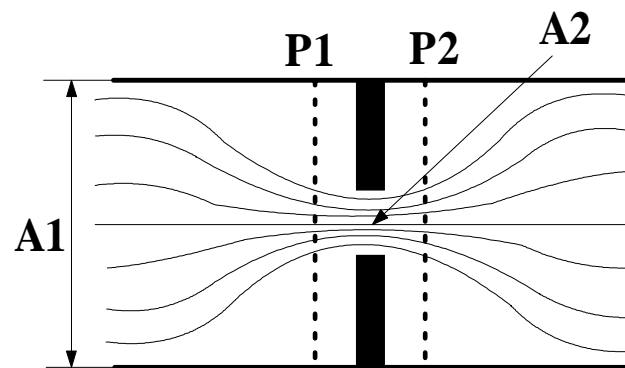
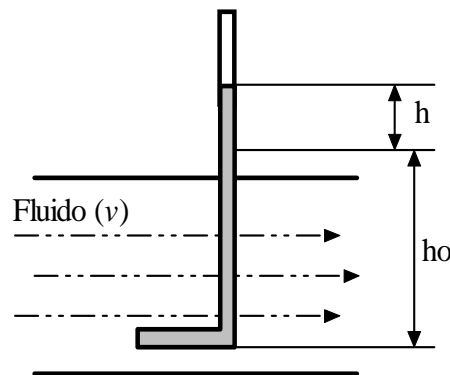
- Al ejercer presión sobre un elemento elástico, éste se deforma provocando un desplazamiento función de la presión ejercida.
- Ejemplos: Diafragma, Fuelle, Tubos de Bourdon.

Transductores Modificadores (IV)

• Sensores Primarios de Flujo y Caudal

- **Flujo.-** Movimiento de fluidos por canales o conductos.
- **Caudal.-** Cantidad de Materia que fluye (en peso o volumen) por unidad de tiempo.

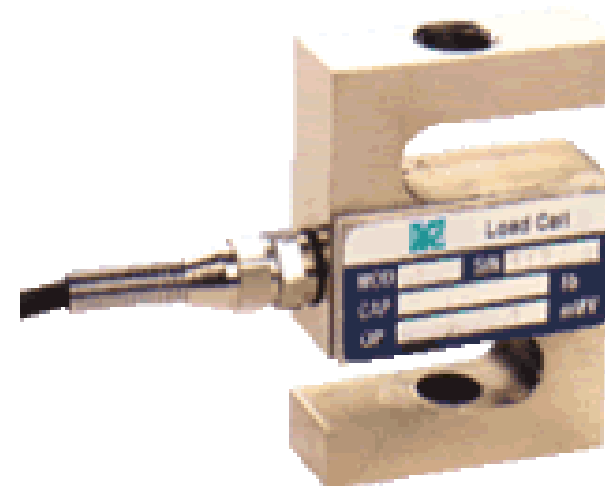
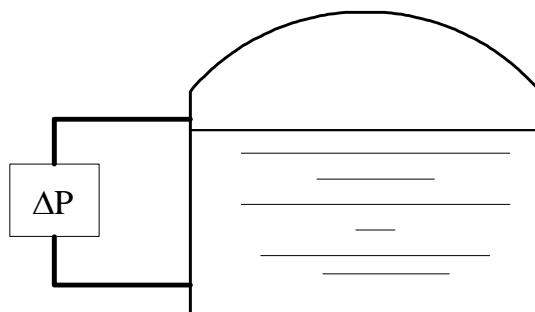
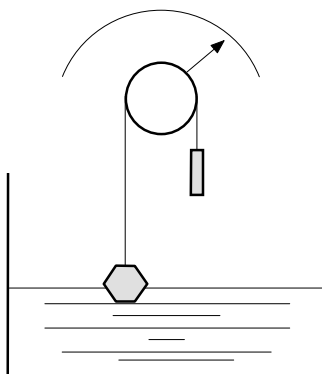
- **Tubo de Pitot.-** Tubo en ángulo recto con una apertura, el líquido sube hasta que se equilibran las presiones.
- **Incremento de Presión.-** Se introduce una placa con orificio de sección menor que la tubería.
- **Variación de la Sección (Rotámetro).-** La altura del flotador será función del caudal.
- **Mediante Flujo Magnético.-** Si el fluido es conductor, al circular por un campo magnético provocará una f.e.m que variará con la velocidad del fluido.



Transductores Modificadores (V)

- **Sensores Primarios de Nivel**

- Basados en flotador, incremento de presiones,...

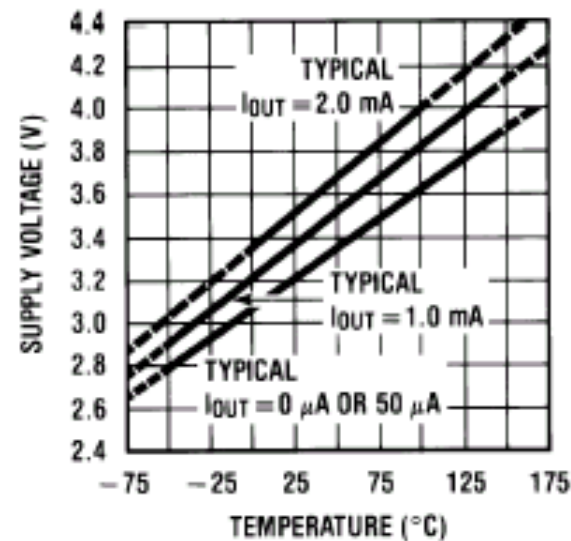
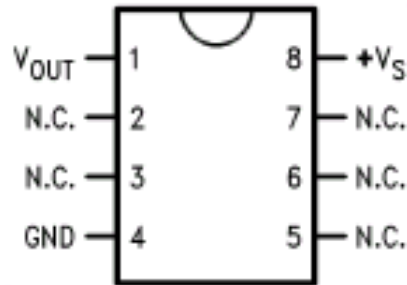
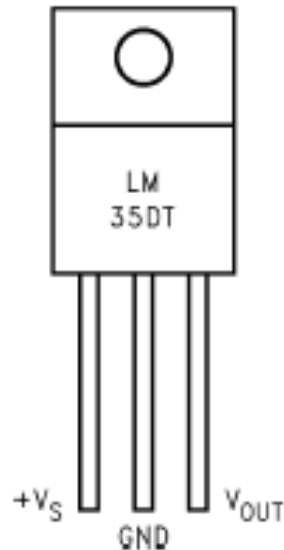


- **Sensores Primarios de Fuerza y Par**

- **Célula de Carga.**- Elemento elástico que se deforma al aplicarle una fuerza en una dirección determinada. Se emplean junto con Galga extensiométrica.

Transductores Monolíticos

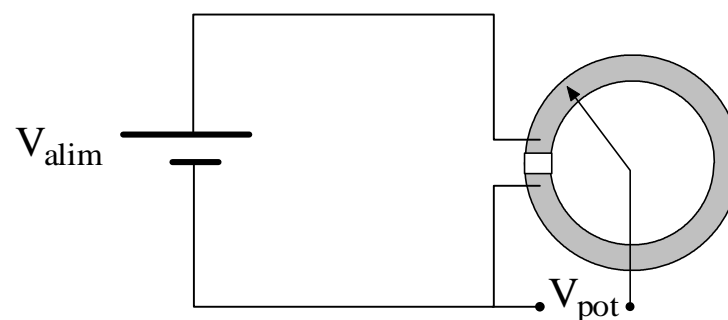
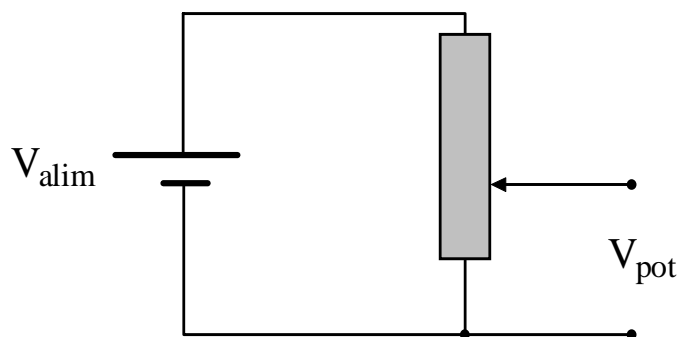
- Se basan en las características de las uniones semiconductoras para realizar la transducción.
 - Tienen una alta precisión y buena linealidad.
 - Requieren poco potencia para su funcionamiento.
-
- Ejemplos: Sensores de T^a integrados, fototransistores, magnetodiodos, detectores de gases, medidores de presión con diafragma integrado,...



Transductores de Posición: Potenciómetros

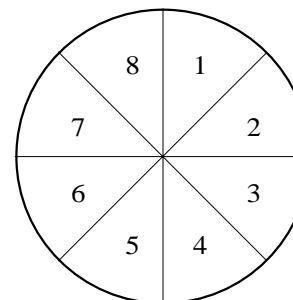
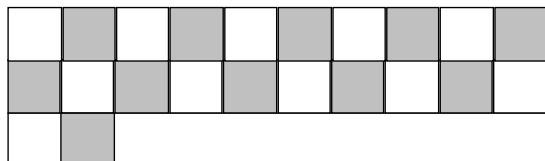
- Resistencia variable lineal, angular o multivuelta, de 3 terminales.
- El parámetro variable es la longitud del elemento resistivo.
- Se utiliza como sensor de posición en lugares con poco ruido eléctrico.
- La medida resultante es muy dependiente de la fuente de alimentación.
- Si sólo se usan 2 terminales se debe cortocircuitar el otro con el cursor para evitar ruidos.

$$V_{pot} = V_{alim} \frac{l}{l_t} \quad \frac{V_{pot}}{V_{alim}} = \frac{l}{l_t} \quad V_{pot} = V_{alim} \frac{\alpha}{\alpha_t} \quad \frac{V_{pot}}{V_{alim}} = \frac{\alpha}{\alpha_t}$$



Transductores de Posición: Encoders

- Transductores Digitales de Posición, Lineales o Angulares.
 - Normalmente son ópticos o electromagnéticos.
- **Incrementales o Relativos.**- Producen un pulsos con cada incremento de posición.
 - La posición actual se obtiene a partir de la anterior.
 - 1 ó 2 pistas para detectar el sentido de giro, más una que produce un pulso por vuelta.
 - La resolución viene determinada por el nº de pulsos por vuelta.
 - Son pequeños y muy precisos.
 - **Absolutos.**- Su salida es un valor digital que codifica la posición.
 - Normalmente se emplea el código Gray.
 - La resolución viene determinada por el nº de bandas.
 - El aumento de precisión requiere un aumento de tamaño.



| Posición | Código |
|----------|--------|
| 1/8 | 000 |
| 2/8 | 001 |
| 3/8 | 011 |
| 4/8 | 010 |
| 5/8 | 110 |
| 6/8 | 111 |
| 7/8 | 101 |
| 8/8 | 100 |

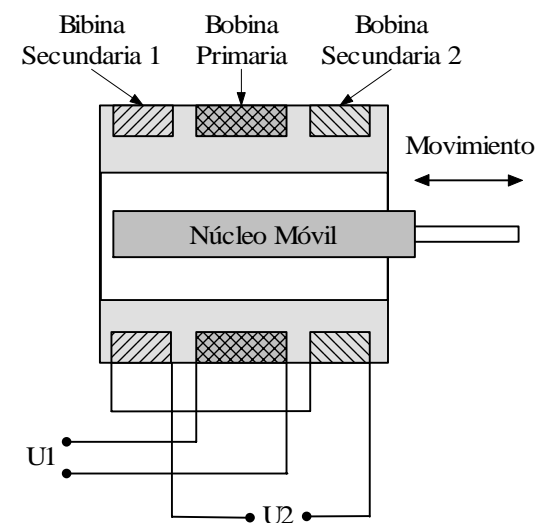
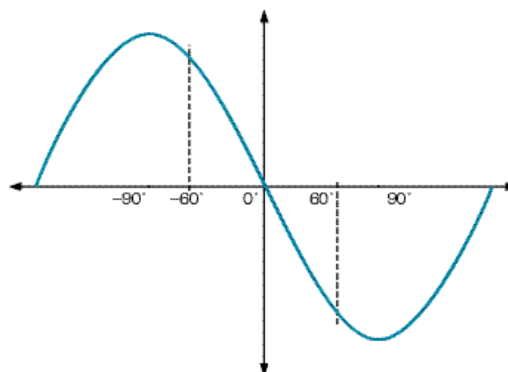
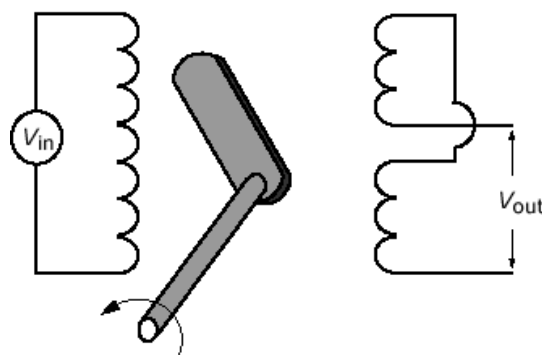
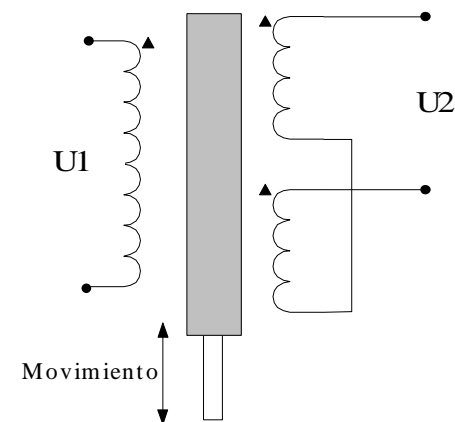
Transductores de Posición: LVDT y RVDT

- **LVDT** (Transformador Diferencial Variable Lineal)

- **RVDT** (Transformador Diferencial Variable Rotacional)

- Lineal en el rango de -60° a 60° .

- Transductor de posición apto para pequeños desplazamientos.
- Muy lineal.
- Proporciona aislamiento eléctrico entre el primario y el secundario.
- Las señales de entrada y salida deben ser alternas.
- Existen circuitos integrados, como el AD698, para alimentar los LVDTs y RVDTs a partir de corriente continua, y adaptar la señal de salida.





Otros Transductores de Posición

- **Sincros y Resolvers**

- Transductores angulares electromagéticos.
- Requieren circuitos específicos para la medida de posición.

- **Inductosyn o Regla Magnética**

- Medida de desplazamientos lineales de alta precisión (micras).

- **Láser**

- Medidas de alta precisión, del orden de μm .

- **Ultrasónicos**

- Se mide en tiempo transcurrido desde la emisión de una señal hasta la recepción del eco.
- Se emplean para la medida de niveles de sólidos o áridos.

- **Galgas Extensiométricas**

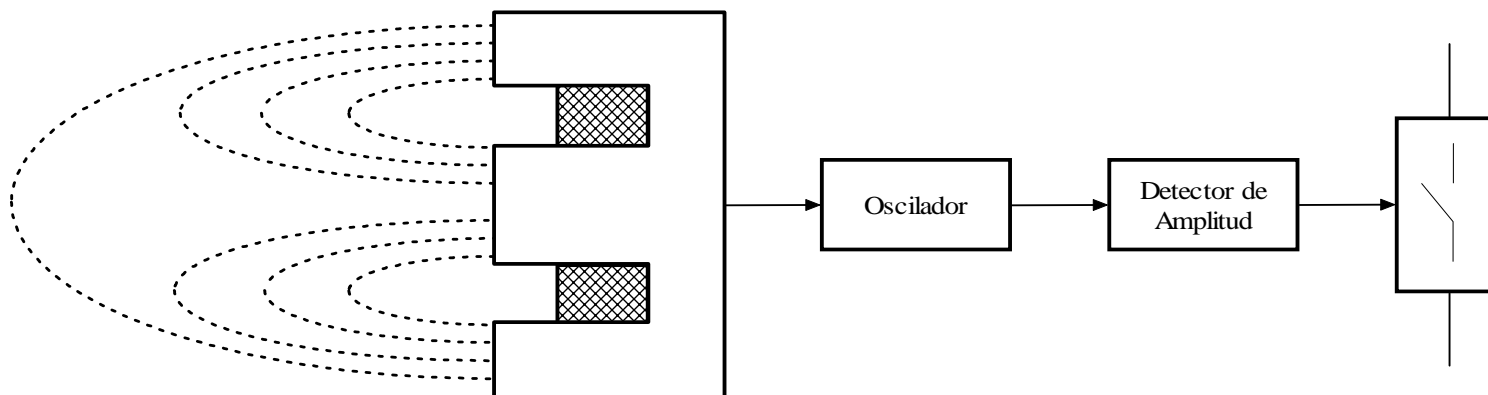
- Medida de pequeñas deformaciones.

- **Transductores Piezoeléctricos**

- Medida de pequeñas deformaciones.

Detectores de Presencia y Proximidad (I)

- Inductivos, Capacitivos, Ópticos o Ultrasonicos.
- La salida puede actuar como interruptor de CC o CA (interrruptor estático: transistor o triac).
- Los Detectores de Proximidad poseen salida analógica en función de la distancia, estos se consideran transductores de posición.
- **Inductivos:**
 - Detectan piezas metálicas en un rango entre 1 y 30 mm.
 - Pueden ser enrasables en metal o no.
 - El tipo Namur está construido para trabajar en ambientes con riesgo de explosión.
 - Ventajas: Detección de piezas sin contacto, robustez, resistencia a ambientes agresivos y a altas temperaturas, bajo precio,...





Detectores de Presencia y Proximidad (II)

- **Capacitivos:**

- Detectan piezas no metálicas, pero su sensibilidad cambia con el tipo de material.
- Muy dependiente de la humedad ambiental.
- Suelen incluir un ajuste de sensibilidad.

- **Ópticos:**

- Emisor de Luz + Fotocélula.
- Funcionamiento por Reflexión en el objeto a detectar o por Barrera (Emisor + Receptor o Emisor/Receptor + Reflector).
- Suelen trabajar con frecuencias luminosas en la gama de los infrarrojos.
- En ambientes muy luminosos se emplean con luz polarizada (detectan objetos reflectantes).
- Los basados en fibra óptica son muy precisos y se pueden situar en lugares poco accesibles.
- Ventajas:
 - Elevada inmunidad a perturbaciones electromagnéticas.
 - Amplias distancias, aprox. 5 m con reflector y 500 m con barrera.
 - Alta velocidad de respuesta.
 - Pueden detectar objetos pequeños, hasta décimas de milímetro.
 - Algunos pueden distinguir colores.

- **Ultrasónicos:**

- Detección de objetos transparentes.
- No se pueden utilizar donde el aire circule con violencia ni en ambientes ruidosos.



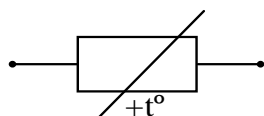
Detectores de Presencia y Proximidad (III)

Posible elección de Detector de Presencia en función del Material y la distancia de Detección:

| Material | | Distacia | Tipo |
|-------------------|--------------|----------|----------------------|
| Sólido | Metálico | < 50 m | Inductivo |
| | | > 50 m | Ultrasónico u Óptico |
| | No Metálico | < 50 m | Capacitivo |
| | | > 50 m | Ultrasónico u Óptico |
| Polvo o Granulado | Metálico | < 50 m | Inductivo |
| | | > 50 m | Ultrasónico |
| | No Metálico | < 50 m | Capacitivo |
| | | > 50 m | Ultrasónico |
| Líquido | Transparente | < 50 m | Capacitivo |
| | | > 50 m | Ultrasónico |
| | Opaco | < 50 m | Capacitivo |
| | | > 50 m | Óptico |

Transductores de Temperatura (I)

- Muy utilizados en el ambiente industrial.
- Tipos: Termostatos, Termoresistencias (RTDs), Termopares, Termistores y Pirómetros.
- **Termostatos**
 - Conmuta en un valor determinado de Temperatura.
 - Se basan en bimetales o en sensores analógicos con comparador (ambientes explosivos).
 - Salida Todo-Nada.
- **Termoresistencias (RTDs)**
 - Utilizan la variación de la resistencia eléctrica de los materiales con la temperatura.
 - El material debe tener un coef. térmico estable y con buena sensibilidad (Níquel o Platino).
 - **Pt100**: (son las más utilizadas)
 - Basadas en Platino, con resistencia nominal de 100Ω a 0°C .
 - Rango de temperaturas entre -250°C y 850°C , con buena linealidad entre -200°C y 500°C .



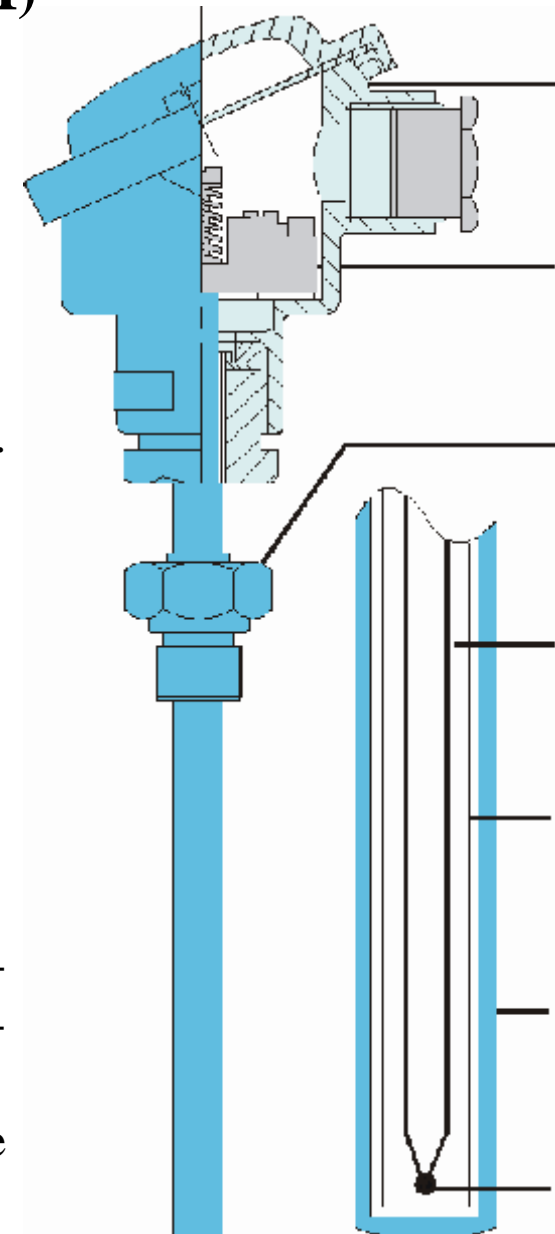
$$R = R_o(1 + \alpha T)$$

- R_o .- Resistencia nominal a la T^a de Referencia.
- α .- Coef. de Temperatura, para el Platino $\alpha = 0,00385\Omega/\Omega/K$.
- $T = (T_a - T_o)$.- $T_a = T^a$ existente y $T_o = T^a$ de Referencia, en grados Kelvin ($0^\circ\text{C} = 273^\circ\text{K}$).

Transductores de Temperatura (II)

• Termopares (I)

- Basados en el efecto Seebeck.
- Son los más utilizados para la medida de temperaturas.
- Rango de medida muy amplio (-270 a 3000 °C).
- Estabilidad a largo plazo.
- Fiabilidad elevada.
- Mayor exactitud que otros dispositivos con temperaturas bajas.
- Velocidad de respuesta rápida.
- Robustez.
- Existen modelos de bajo precio.
- Se requiere que cumplan:
 - Alta linealidad
 - Resistencia a la oxidación a altas temperaturas.
 - Protección si existe riesgo de explosión.
- Se emplean aleaciones especiales (Niquel-Cromo, Alumel,...)
- Para proteger el termopar frente a esfuerzos mecánicos, corrosión y contaminación, y para permitir el posicionamiento preciso del termopar, introduce en un **Vaina**.
- En la parte alta se encuentra el **Cabezal de Conexión**, que debe ser de fácil acceso





Transductores de Temperatura (III)

• Termopares (II)

| Designación (Norma ANSI) | Composición | Margen habitual | mV/margen |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| B | Platino(6 ó 30 %)-Rodio | 38 a 1800 °C | 13.6 |
| C | Tungsteno-Renio | 0 a 2300 °C | 37.0 |
| E | Cromel-Constatan | 0 a 982 °C | 75.0 |
| J | Hierro-Constatan | -184 a 760 °C | 50.0 |
| K | Cromel-Alumel | -184 a 1260 °C | 56.0 |
| R | Platino (13%)-Rodio | 0 a 1593 °C | 18.7 |
| S | Platino (10 %)-Rodio | 0 a 1538 °C | 16.0 |
| T | Cobre-Constatan | -184 a 400 °C | 26.0 |

Fragmento de una tabla de tensiones en mV, para un termopar **tipo J** con unión de referencia a 0°C.

| Grados | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0.000 | 0.050 | 0.101 | 0.151 | 0.202 | 0.253 | 0.303 | 0.354 | 0.405 | 0.456 |
| 10 | 0.507 | 0.558 | 0.609 | 0.660 | 0.711 | 0.762 | 0.813 | 0.865 | 0.916 | 0.967 |
| 20 | 1.019 | 1.070 | 1.122 | 1.174 | 1.225 | 1.277 | 1.329 | 1.381 | 1.432 | 1.484 |
| 30 | 1.536 | 1.588 | 1.640 | 1.693 | 1.745 | 1.797 | 1.849 | 1.901 | 1.954 | 2.006 |
| 40 | 2.058 | 2.111 | 2.163 | 2.216 | 2.268 | 2.321 | 2.374 | 2.426 | 2.479 | 2.532 |
| 50 | 2.585 | 2.638 | 2.691 | 2.743 | 2.796 | 2.849 | 2.902 | 2.956 | 3.009 | 3.062 |
| 60 | 3.115 | 3.168 | 3.221 | 3.275 | 3.328 | 3.381 | 3.435 | 3.488 | 3.542 | 3.595 |
| 70 | 3.649 | 3.702 | 3.756 | 3.809 | 3.863 | 3.917 | 3.971 | 4.024 | 4.078 | 4.132 |
| 80 | 4.186 | 4.239 | 4.293 | 4.347 | 4.401 | 4.455 | 4.509 | 4.563 | 4.617 | 4.671 |
| 90 | 4.725 | 4.780 | 4.834 | 4.888 | 4.942 | 4.996 | 5.050 | 5.105 | 5.159 | 5.213 |
| 100 | 5.268 | 5.322 | 5.376 | 5.431 | 5.485 | 5.540 | 5.594 | 5.649 | 5.703 | 5.758 |

Transductores de Temperatura (IV)

• Termistores

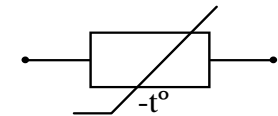
- Basados en la variación de la resistencia con la temperatura en las uniones semiconductoras.
- Mayor sensibilidad que las RTDs, pero poco lineales.
- Se fabrican en un amplio margen de valores.

- NTC (CTN)

- Posee coeficiente de T^a negativo (la resistencia disminuye con la T^a).

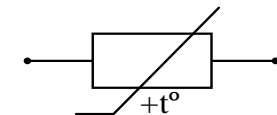
$$R_{CTN} = R_o e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}\right)}$$

- **B.-** Temperatura característica. Constante a t^{as} normales de trabajo (4000 °K).
- **T.-** Temperatura a la que se someta la NTC (en grados Kelvin).
- **To.-** Temperatura de referencia, normalmente 298 °K (en grados Kelvin).
- **Ro.-** Resistencia a temperatura To.



- NTP (CTP)

- Posee coeficiente de T^a positivo (la resistencia aumenta con la T^a).
- Debido a su curva característica se emplea como sensor Todo-Nada.
- Si la t^a es menor de la de conmutación, la resistencia ronda los 100Ω, y si es mayor, los 10MΩ.



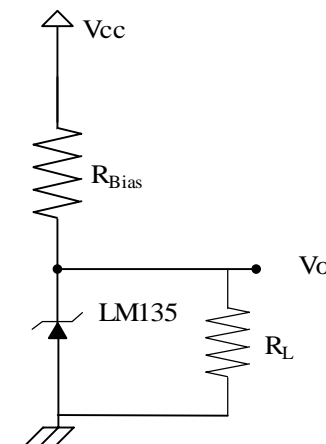
Transductores de Temperatura (V)

• Transductores integrados

- Basado en la sensibilidad a la temperatura de las uniones de silicio.
- Muy económico y de gran precisión.
- Rango de temperaturas pequeño (-55 a 200 °C).
- **LM 135/335:**
 - Opera como un zéner con voltaje de ruptura proporcional a la temperatura.
 - La corriente inversa puede oscilar entre 400μA y 5mA.
 - Margen de temperaturas: -55 °C a 150 °C (LM135) y -55 °C a 100 °C (LM335).
 - Para que funcione en la zona lineal $400\mu A < I_Z < 5mA$.
 - Para calcular R_{Bias} se emplea $I_Z = 1\text{ mA}$ y la T^a nominal de funcionamiento.

$$V_Z = 10mV/^{\circ}K$$

$$\frac{V_o|_{T_{max}}}{R_{Lmin}} = \frac{V_{cc} - V_o|_{T_{max}}}{R_{Bias}}$$





Actuadores

- Normalmente a los autómatas programables se conectarán accionamientos de tipo electrónico (relés, contactores, motores DC, servomotores,...), aunque también pueden emplearse motores de corriente alterna, accionamientos neumáticos, etc.
- **Relés y Contactores**
 - Son interruptores controlados.
 - Conectan o desconectan un circuito de potencia.
- **Motores**
 - Corriente Continua (DC).
 - Corriente Alterna (AC).
 - Servomotores (Motores con sistema de control incorporado).
 - Motores Paso a Paso.
- **Accionamientos Hidráulicos y Neumáticos**
 - Válvulas (Todo-Nada o Regulables).
 - Servoválvulas (con circuito de control de presión o caudal).
 - Cilindros
 - Simple Efecto. - Se activan en un sentido y retornan al eliminar la acción.
 - Doble Efecto. - Se pueden activar en un sentido u otro
 - Acción Diferencial. - Permiten mantener el émbolo en cualquier posición.
 - Sujeción por Vacío o Ventosas
 - Bombas y motores hidráulicos.