

TEMA 4:
SENSORES GENERADORES

Bibliografía:

Sensores y acondicionadores de señal
Pallás Areny, R.
Marcombo, 1994

Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición
Cooper, W.D. y otro
Prentice-Hall, 1990

Componentes electrónicos
Siemens
Marcombo, 1987

Hojas de características de los fabricantes

Juan Enrique García Sánchez, Noviembre 2007
Dpto. de Ing. Eléctrica, Electrónica y Automática.
Universidad de Castilla – La Mancha

INTRODUCCIÓN

Se consideran sensores generadores aquellos que generan una señal eléctrica, a partir de la magnitud que miden, sin necesidad de una alimentación. Ofrecen una alternativa para medir muchas de las magnitudes ordinarias, sobre todo **temperatura, fuerza y magnitudes afines**. Pero, además, dado que se basan en **efectos reversibles**, están relacionados con diversos tipos de accionadores o aplicaciones inversas en general. Es decir, se pueden emplear para la generación de acciones no eléctricas a partir de señales eléctricas.

Se exponen aquí los sensores:

- ✓ **Termoeléctricos**
- ✓ **Piezoeléctricos y**
- ✓ **Fotovoltaicos**

Algunos de los efectos que se describen aquí pueden producirse inadvertidamente en los circuitos, y ser así fuente de interferencias. Es el caso de las fuerzas termoelectromotrices o de las vibraciones en cables con determinados dieléctricos. El conocimiento de los fenómenos asociados, con vistas a la transducción, permite también su aplicación cuando se trate de reducir interferencias.

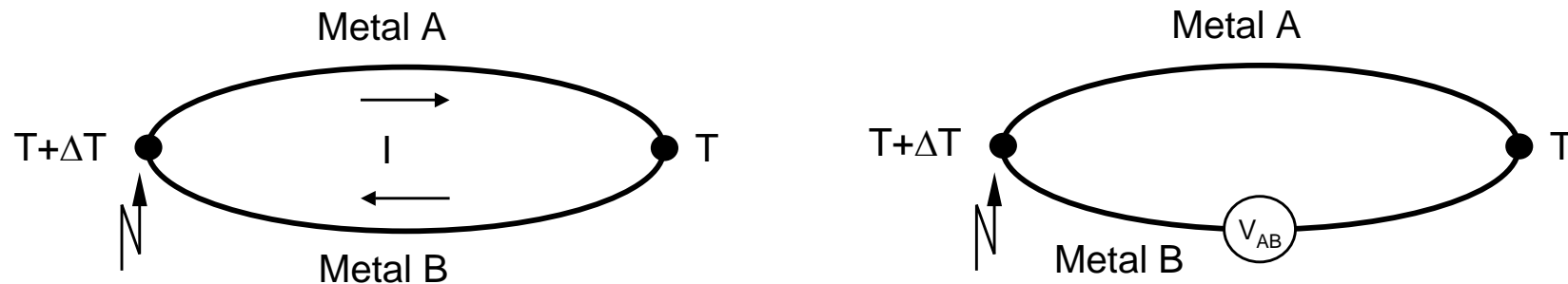
SENSORES TERMOELÉCTRICOS: TERMOPARES

Los sensores termoelectrónicos se basan en dos efectos que, a diferencia del efecto Joule, son reversibles. Se trata del **efecto Peltier** y del **efecto Thomson**. La acción conjunta de estos dos efectos da lugar al efecto **Seebeck**, en el que se basan los termopares.

Efecto Seebeck

Históricamente fue primero Thomas J. Seebeck quien descubrió, en 1822, que en un circuito formado por dos metales homogéneos, A y B, con dos uniones a diferente temperatura, aparece una corriente eléctrica. Es decir, hay una conversión de energía térmica a energía eléctrica.

Si se abre el circuito, aparece una fuerza (termo)electromotriz (f.t.e.m.) cuya magnitud depende de la naturaleza de los metales y de la diferencia de temperatura entre las dos uniones.



Al conjunto de estos dos metales con una unión firme en un punto se le denomina **termopar**.

La relación entre la f.t.e.m. (E_{AB}) y la diferencia de temperatura entre las uniones (T), define el coeficiente de Seebeck (S_{AB})

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

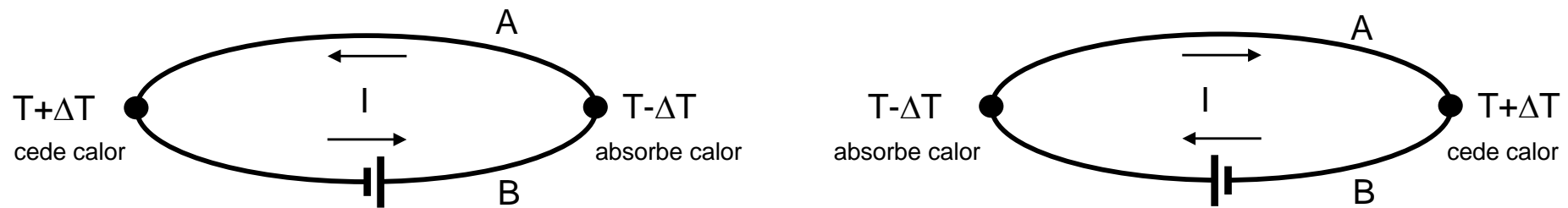
S_A y S_B son, respectivamente, la potencia termoelectrónica absoluta de los metales A y B. En general S_{AB} no es constante sino que suele crecer al aumentar la temperatura.

Mientras que la corriente depende de la resistencia de los conductores, la f.t.e.m. no depende ni de la resistividad, ni de la sección, ni de la distribución de temperaturas en los conductores. Depende sólo de la diferencia de temperatura entre las uniones y de la naturaleza de los conductores.

SENSORES TERMOELÉCTRICOS: TERMOPARES (continuación)

Efecto Peltier

Descubierto por Jean C.A. Peltier en 1834, consiste en el calentamiento o enfriamiento de la unión entre dos metales al pasar una corriente por ella. Al invertir el sentido de la corriente se invierte también el sentido del flujo de calor, si antes se calentaba ahora se enfría y viceversa.



Se trata de un efecto reversible e independiente de la forma y dimensiones del contacto y de los conductores. Depende sólo de su composición y de la temperatura de la unión.

La dependencia entre la potencia calorífica transformada (Q_p) y la corriente es lineal y viene descrita por el coeficiente de Peltier (π_{AB}), que por tener dimensiones de tensión se llama a veces tensión Peltier. Se define π_{AB} como la potencia calorífica generada en la unión entre A y B por unidad de corriente que circula de B a A.

$$\pi_{AB} = \pm \frac{Q_p}{I}$$

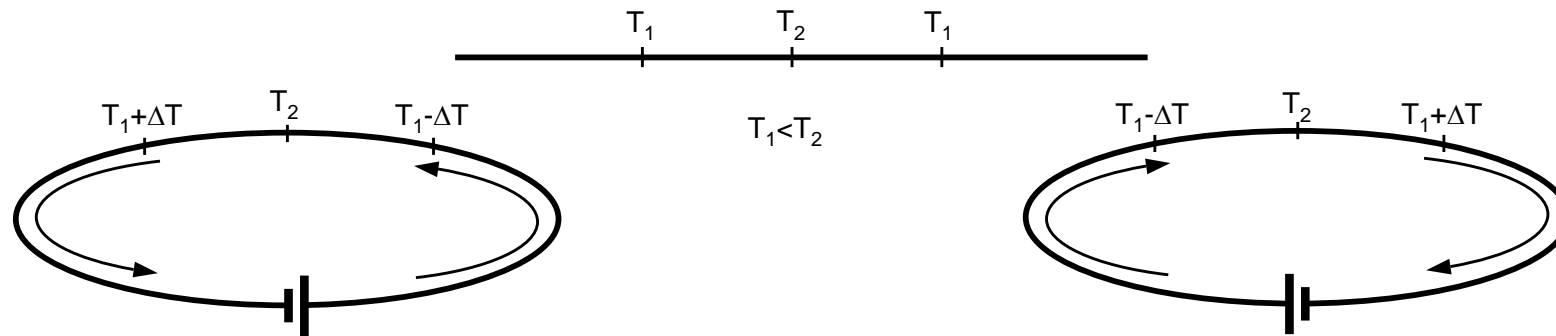
Para una unión a temperatura absoluta T , se demuestra que: $\pi_{AB} = T(S_A - S_B) = -\pi_{BA}$

El efecto Peltier es también independiente del origen de la corriente, que puede ser incluso de origen termoeléctrico, como en la página anterior. En este caso cada unión alcanza una temperatura distinta a la de su ambiente y esto puede ser una fuente de error.

SENSORES TERMOELÉCTRICOS: TERMOPARES (continuación)

Efecto Thomson

Descubierto por William Thomson (Lord Kelvin) en 1847, consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor homogéneo con temperatura no homogénea por el que circula una corriente. El calor liberado es proporcional a la corriente. Se absorbe calor cuando la corriente fluye del punto más frío al más caliente y se libera cuando fluye del más caliente al más frío.



La potencia calorífica neta q por unidad de volumen en un conductor de resistividad r , con un gradiente longitudinal de temperatura dT/dx ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$), por el que circula una densidad de corriente i , será:

$$q = i\sigma\left(\frac{dT}{dx}\right) - i^2r$$

Efecto Thomson
Efecto Joule

donde σ es el denominado coeficiente de Thomson.

SENSORES TERMOELÉCTRICOS: TERMOPARES (continuación)

Si la corriente que circula por el circuito del termopar es suficientemente pequeña, para despreciar el efecto Joule, se pueden considerar exclusivamente los efectos termoeléctricos reversibles. En este caso, la energía termoelectromotriz generada debe coincidir con la energía térmica neta transformada por la suma de los efectos Peltier y Thomson.

Energía termoelectromotriz generada en el circuito: $(dE_{AB}/dT) \cdot I \cdot \Delta T \cdot t$

Calor absorbido en la unión caliente: $\pi_{ab}(T + \Delta T) \cdot I \cdot t$

Calor liberado en la unión fría: $-\pi_{ab}(T) \cdot I \cdot t$

Calor liberado en el conductor A: $-\sigma_A \cdot \Delta T \cdot I \cdot t$

Calor absorbido en el conductor B: $\sigma_B \cdot \Delta T \cdot I \cdot t$

El balance energético sería: $(dE_{AB}/dT) \cdot I \cdot \Delta T \cdot t = \pi_{AB}(T + \Delta T) \cdot I \cdot t - \pi_{AB}(T) \cdot I \cdot t + (\sigma_B - \sigma_A) \cdot I \cdot \Delta T \cdot t$

Dividiendo en ambos términos por $\Delta T \cdot I \cdot t$ quedaría: $dE_{AB}/dT = \frac{\pi_{AB}(T + \Delta T) - \pi_{AB}(T)}{\Delta T} + (\sigma_B - \sigma_A)$

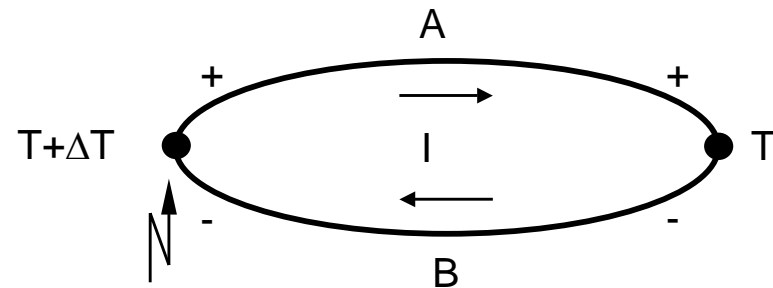
Pasando al límite cuando ΔT tiende a cero resulta: $dE_{AB}/dT = d\pi_{AB}/dT + (\sigma_B - \sigma_A)$

Esta fórmula indica que el efecto Seebeck es, de hecho, el resultado de los efectos Peltier y Thomson, y expresa el teorema fundamental de la termoelectricidad.

La expresión del coeficiente de Seebeck permite pensar en la aplicación de los termopares a la medida de temperaturas.

$$S_{AB} = \frac{dE_{AB}}{dT} \Rightarrow E_{AB} = \int_0^T S_{AB} dT$$

T es la diferencia entre la temperatura de la unión de referencia, normalmente 0°C, y la temperatura de la unión de medida, es decir, la temperatura que se pretende medir.



SENSORES TERMOELÉCTRICOS: TERMOPARES (continuación)

Los valores de la tensión obtenida con determinados termopares, en función de la temperatura de la unión de medida, cuando la unión de referencia se mantiene a 0°C, están tabulados.

La aplicación de los termopares a la medida de temperaturas está sujeta a una serie de **limitaciones** que conviene conocer.

- ✓ La **corriente** que circule por el circuito del termopar debe ser **mínima**. De no ser así, debido al efecto Peltier y Thomson, la temperatura de las uniones y de los conductores sería distinta a la del entorno. Además, habría que considerar el efecto Joule y la caída de tensión en los conductores del termopar. Téngase en cuenta que el circuito equivalente de un termopar es una fuente de tensión dependiente del incremento de temperatura entre las uniones y una resistencia serie.
- ✓ Los **conductores** deben ser **homogéneos**, por lo que se deben extremar las precauciones en la instalación para evitar tensiones mecánicas, también se deben evitar gradientes de temperatura “importantes” a lo largo del tendido de los cables para evitar envejecimientos prematuros.
- ✓ Es necesario mantener la **unión de referencia a una temperatura fija y conocida**. Si esta temperatura de referencia está muy lejos del margen de variación de la temperatura a medir, la salida del termopar puede que presente variaciones pequeñas sobre un nivel alto de tensión.
- ✓ Al no ser constante el coeficiente de Seebeck, la **linealidad** no es total aunque, para algunos termopares y en determinados tramos de temperatura, es aceptable. Esta no linealidad tiene poca relevancia en sistemas de medida programables.
- ✓ La **tolerancia**, entre diferentes unidades del mismo modelo, **puede ser de varios °C**. Este hecho puede requerir ajustes en el circuito de acondicionamiento tras una sustitución del termopar.

Fragmento de la tabla V/T para un termopar Hierro-Constantan.
La unión de referencia se supone a 0°C. Tensiones en mV.

Grados	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,000	0,050	0,101	0,151	0,202	0,253	0,303	0,354	0,405	0,456	0,507
10	0,507	0,558	0,609	0,660	0,711	0,762	0,813	0,865	0,916	0,967	1,019
20	1,019	1,070	1,122	1,174	1,225	1,277	1,329	1,381	1,432	1,484	1,536
30	1,536	1,588	1,640	1,693	1,745	1,797	1,849	1,901	1,954	2,006	2,058
40	2,058	2,111	2,163	2,216	2,268	2,321	2,374	2,426	2,479	2,532	2,585
50	2,585	2,638	2,691	2,743	2,796	2,849	2,902	2,956	3,009	3,062	3,115
60	3,115	3,168	3,221	3,275	3,328	3,381	3,435	3,488	3,542	3,595	3,649
70	3,649	3,702	3,756	3,809	3,863	3,917	3,971	4,024	4,078	4,132	4,186
80	4,186	4,239	4,293	4,347	4,401	4,455	4,509	4,563	4,617	4,671	4,725
90	4,725	4,780	4,834	4,888	4,942	4,996	5,050	5,105	5,159	5,213	5,268
100	5,268	5,322	5,376	5,431	5,485	5,540	5,594	5,649	5,703	5,758	5,812

SENSORES TERMOELÉCTRICOS: TERMOPARES (continuación)

A pesar de estas limitaciones, los termopares tienen muchas **ventajas** y son, con diferencia, los sensores más frecuentes para la medida de temperaturas.

- ✓ Tienen un **alcance de medida grande**, no sólo en su conjunto, que va desde -270°C hasta 3000°C , sino también en cada modelo particular.
- ✓ Su **estabilidad** a largo plazo es **aceptable** y su **fiabilidad elevada**.
- ✓ **Para temperaturas bajas tienen mayor exactitud que las RTD**, y por su pequeño tamaño tienen velocidades de respuesta rápida, del orden de milisegundos.
- ✓ Son **robustos, simples y tienen gran flexibilidad de utilización**. Además, existen modelos de bajo precio adecuados para muchas aplicaciones.
- ✓ Al no necesitar excitación, **no tienen problemas de autocalentamiento**.

Tipos de termopares:

Para la fabricación de termopares se emplean aleaciones especiales:

Níquel(90)/Cromo(10),
Cobre(57)/Níquel(43),
Níquel(94)/Aluminio(2)/Manganeso(3)/Silicio(1),
etc.

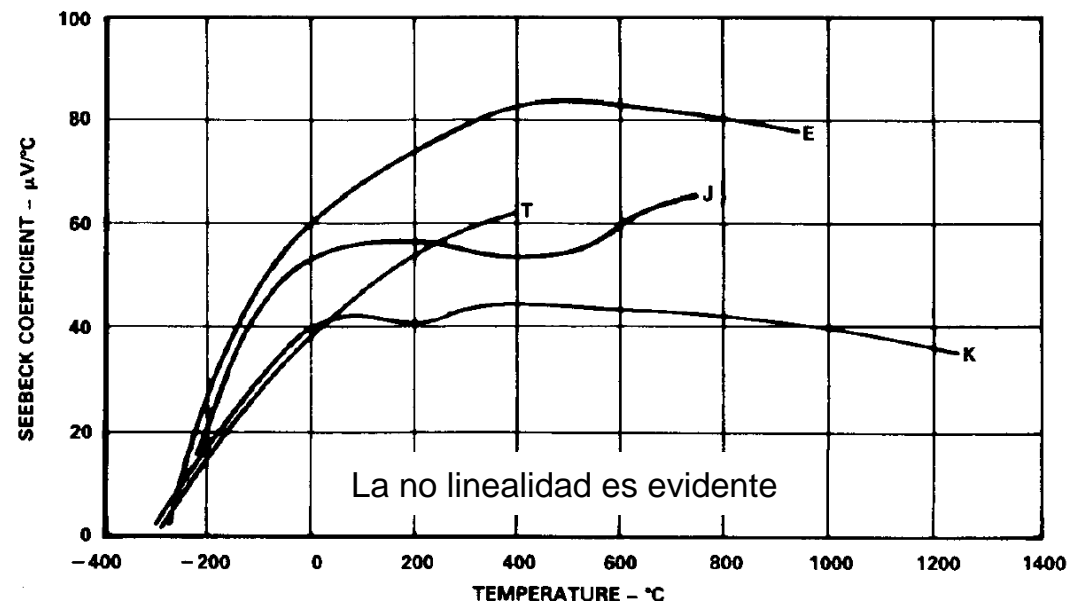
Cada uno de estos termopares tiene unas características de rango de temperatura, linealidad, sensibilidad, atmósfera que soporta, etc.

Los fabricantes proporcionan información sobre las características de sus termopares y los ambientes y aplicaciones para los que es más adecuado cada modelo.

Tipos de termopares: (continuación)

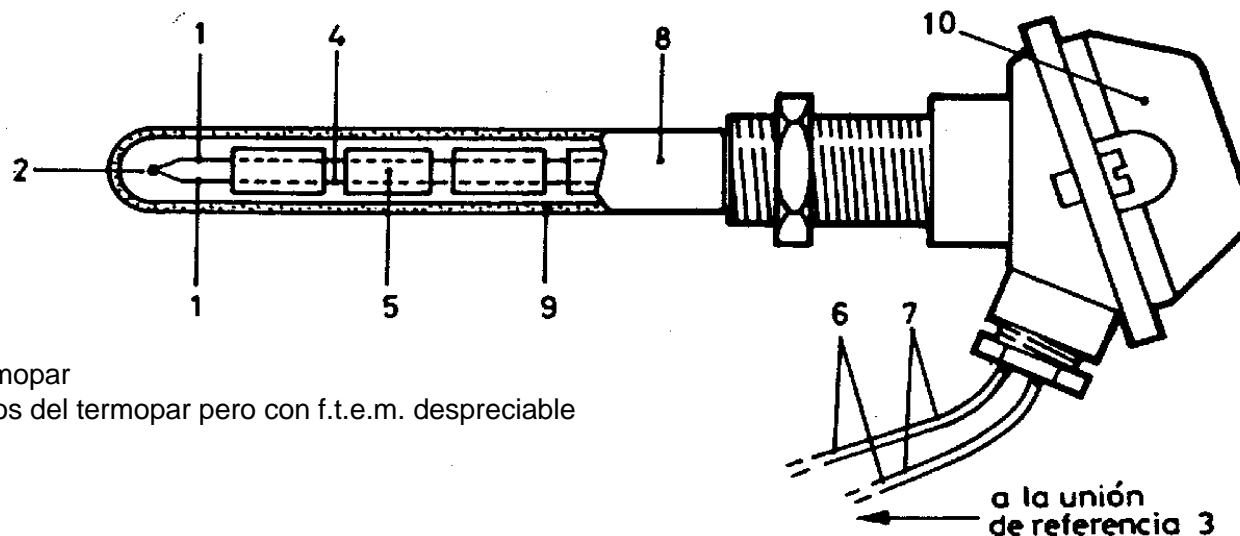
En el siguiente cuadro se muestra una relación de los termopares de uso más frecuente con su denominación normalizada (ANSI). También se muestra la evolución del coeficiente de Seebeck en función de la temperatura.

Designación ANSI	Composición	Margen habitual	mV/margen
B	Pt (6%)/Rodio-Pt (30%)/Rodio	38 a 1800°C	13,6
C	W (5%)/Renio-W (26%)/Renio	0 a 2300°C	37,0
E	Cromel-Constantan	0 a 982°C	75,0
J	Hierro-Constantan	0 a 760°C	42,9
K	Cromel-Alumel	- 184 a 1260°C	56,0
N	Nicrosil (Ni-Cr-Si) - Nisil (Ni-Si-Mg)	- 270 a 1300°C	51,8
R	Pt (13%)/Rodio-Pt	0 a 1593°C	18,7
S	Pt (10%)/Rodio-Pt	0 a 1538°C	16,0
T	Cobre-Constantan	- 184 a 400°C	26,0



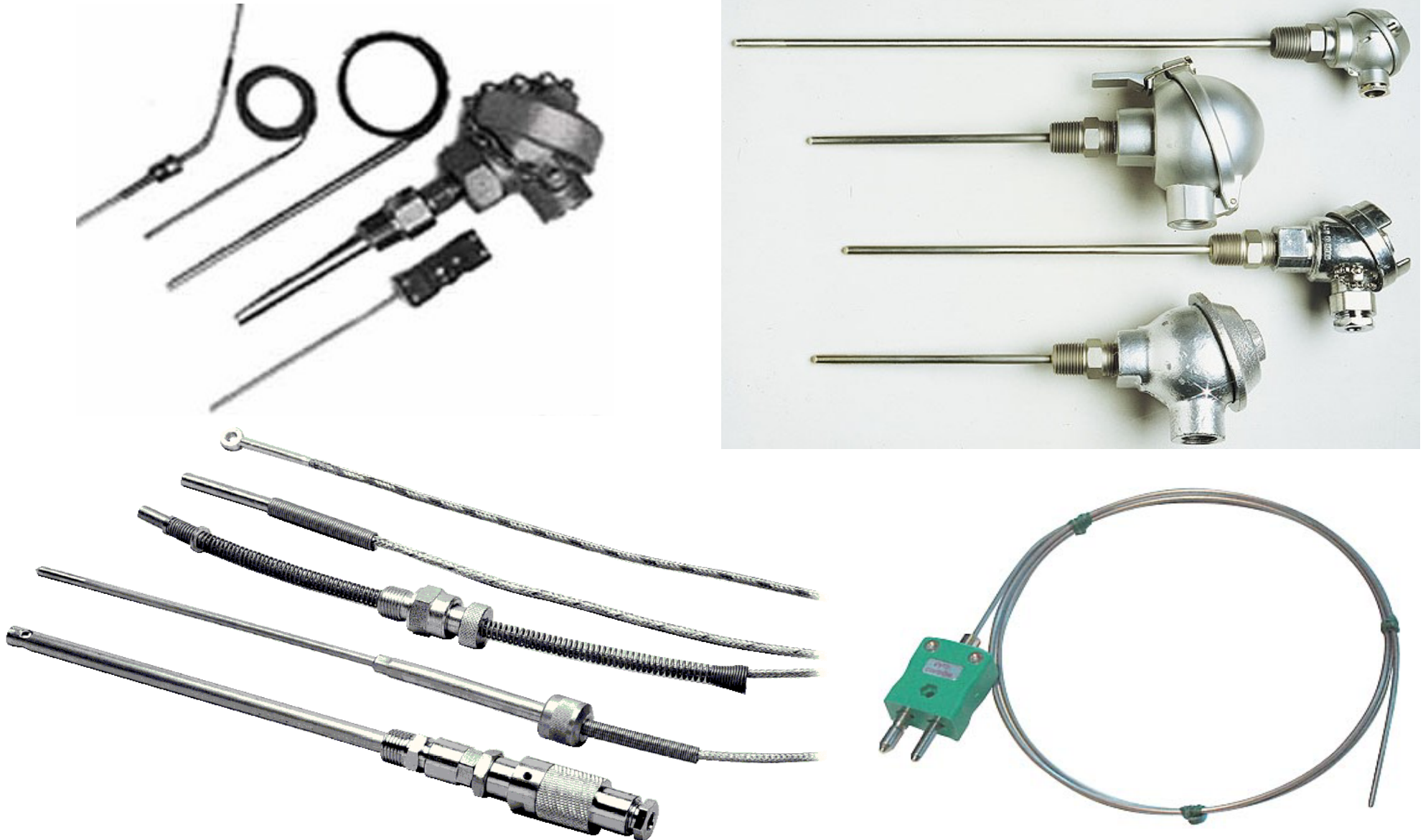
En la figura se muestra un termopar de uso industrial con vaina de protección.

1. Conductores (A y B)
2. Unión de medida
3. Unión de referencia
4. Hilos del termopar sin aislar
5. Hilos del termopar aislados
6. Cables de extensión iguales a los del termopar
7. Cables de compensación, diferentes de los del termopar pero con f.t.e.m. despreciable
8. Caña pirométrica
9. Protector (cubierta externa)
10. Cabeza de la caña



Ejemplos de termopares comercialmente disponibles

Existe en el mercado una gran variedad de termopares con todo tipo de formas, tamaños, encapsulados, etc. Se muestran aquí algunos ejemplos.



Normas de aplicación práctica para los termopares

En un sistema programable, se pueden emplear polinomios que aproximan la curva de calibración de los termopares con una exactitud dependiente de su orden.

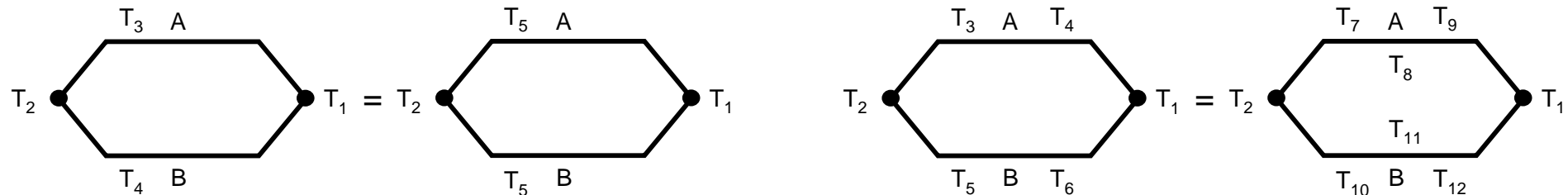
$$T = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

donde x es la tensión leída en el termopar. Los coeficientes del polinomio están disponibles para cada tipo de termopar y para un determinado rango de medida. La precisión del polinomio depende del número de coeficientes utilizados.

La medición de temperaturas mediante termopares está sujeta a una serie de leyes, verificadas experimentalmente, que simplifican el análisis de los circuitos que contienen estos sensores.

Ley de los circuitos homogéneos

En un circuito de un único metal homogéneo, no se puede mantener una corriente termoeléctrica mediante la aplicación exclusiva de calor, aunque varíe la sección transversal del conductor.



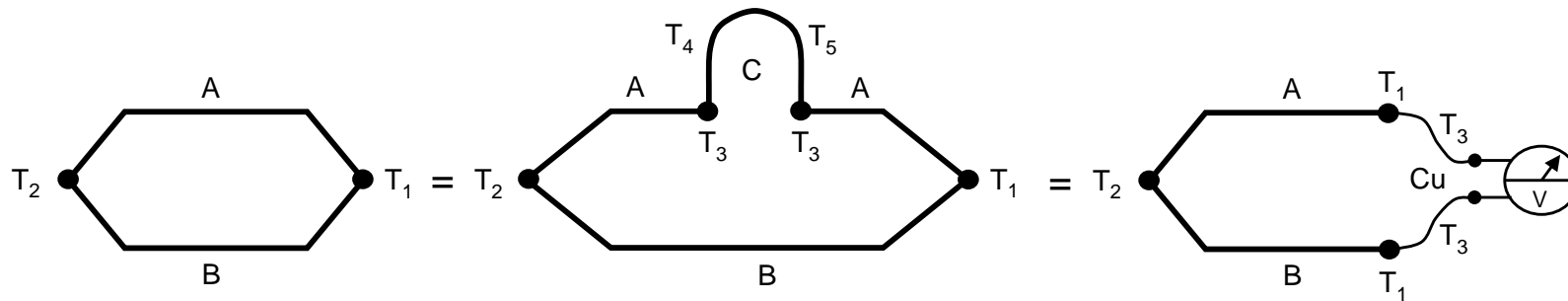
En la figura se muestra el significado de esta ley. Las temperaturas intermedias, a que pueda estar sometido cada conductor, no alteran la f.t.e.m. debida a una determinada diferencia de temperatura entre las uniones. Esto no significa que si hay distintas temperaturas a lo largo de un circuito se tengan que emplear necesariamente hilos de extensión largos iguales a los del termopar. Se emplean los denominados **cables de compensación**, que son más económicos que los del termopar y añaden f.t.e.m. despreciables.

Normas de aplicación práctica para los termopares (continuación)

Ley de los metales intermedios

En un circuito compuesto por un número cualquiera de metales distintos, si se intercala un conductor y sus dos contactos con el circuito permanecen a la misma temperatura, la tensión añadida al circuito con la incorporación de estos dos contactos es cero.

Esto significa que se puede incorporar al circuito un instrumento de medida sin añadir errores. El instrumento se puede intercalar en un conductor o en una unión. En la figura se describe gráficamente esta ley.



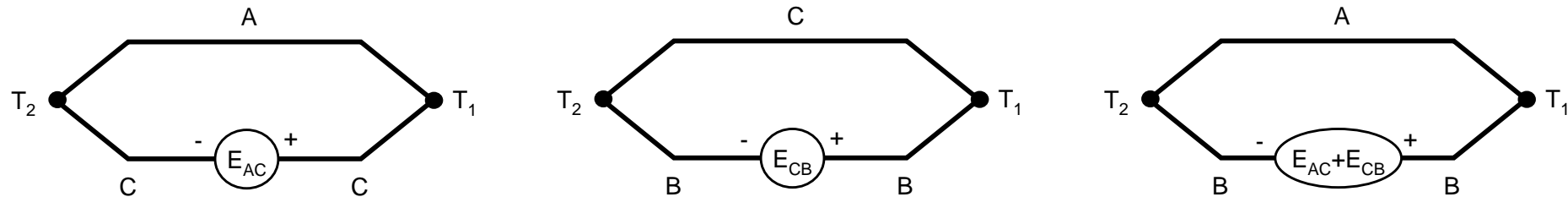
En la tabla siguiente se muestran las fuerzas termoelectromotrices de diversos metales y aleaciones respecto al cobre, que es el elemento de conexión más común en circuitos electrónicos. El elevado valor correspondiente al óxido de cobre indica claramente la necesidad de mantener los contactos limpios.

	Cu-Cu	Cu-Ag	Cu-Au	Cu-Cd/Sn	Cu-Pb/Sn	Cu-Si	Cu-Kovar	Cu-CuO
$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ →	<0.2	0.3	0.3	0.3	1-3	400	40	1000

Normas de aplicación práctica para los termopares (continuación)

Ley de los metales intermedios (continuación)

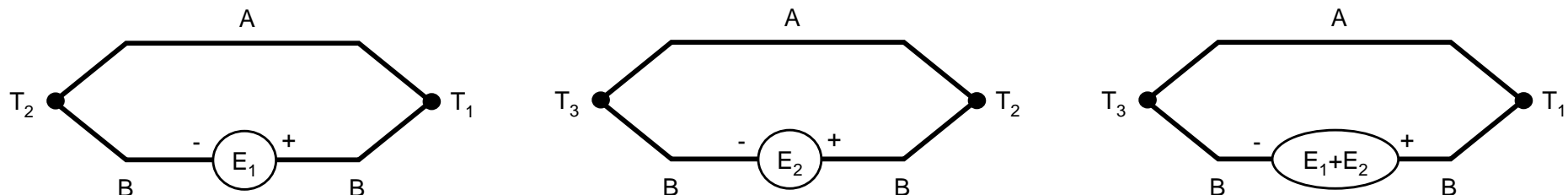
Una consecuencia de esta ley es que si se conoce la relación térmica de dos metales con un tercero, se puede encontrar la relación entre los dos primeros. Por lo tanto, no es preciso calibrar todos los posibles pares de metales para obtener su tabla tensión/temperatura. Basta con conocer el comportamiento de cada metal con respecto a uno tomado como referencia. Se ha convenido que el platino sea esta referencia.



Ley de las temperaturas sucesivas o intermedias

Si dos conductores homogéneos distintos producen una f.t.e.m. E_1 cuando las uniones están a T_1 y T_2 , y una f.t.e.m. E_2 cuando las uniones están a T_2 y T_3 , la f.t.e.m. cuando las uniones estén a T_1 y T_3 será $E_1 + E_2$.

Esto tiene una consecuencia práctica importante; la unión de referencia no tiene por qué estar a 0°C , puede usarse otra temperatura de referencia. Incluso no tiene que ser fija siempre que sea conocida.

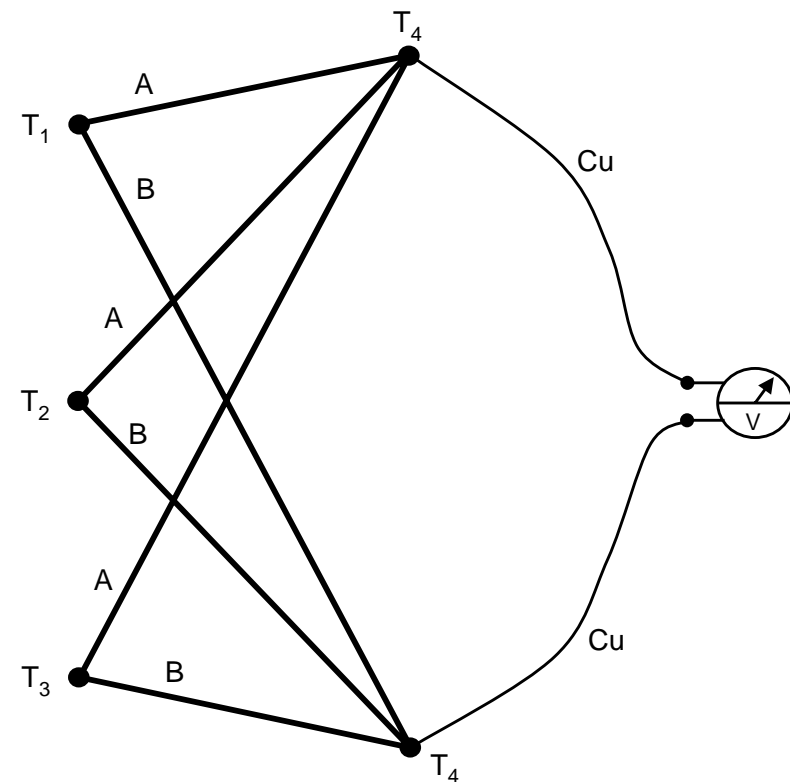
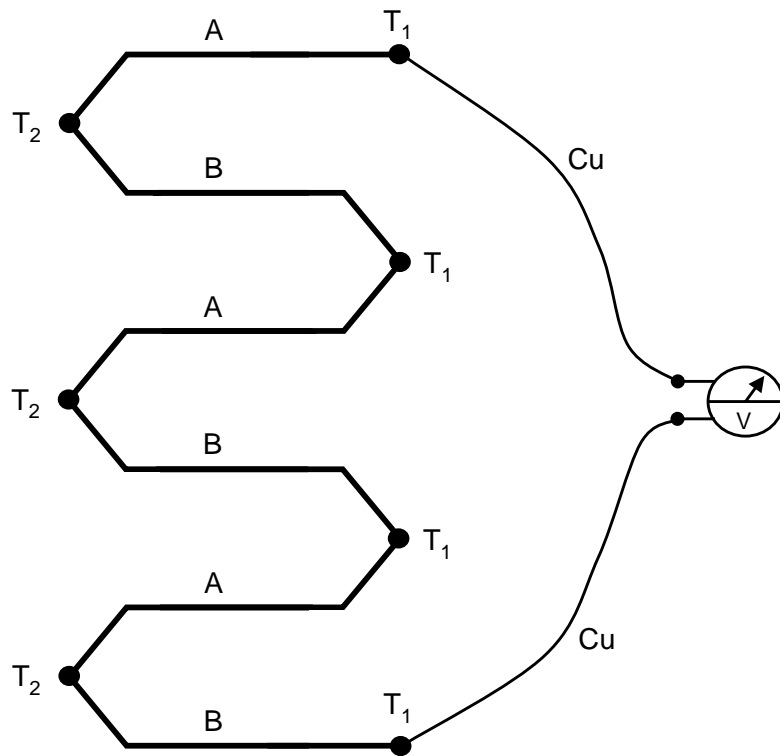


Normas de aplicación práctica para los termopares (continuación)

Aplicando las leyes anteriores se pueden analizar fácilmente circuitos como los de la figura.

En el primer circuito, se trata de una conexión serie de varios termopares, constituyendo una termopila. Es fácil comprobar que aumenta la sensibilidad respecto al caso de una sola unión, la tensión de salida será la suma de las tensiones de cada termopar aislado.

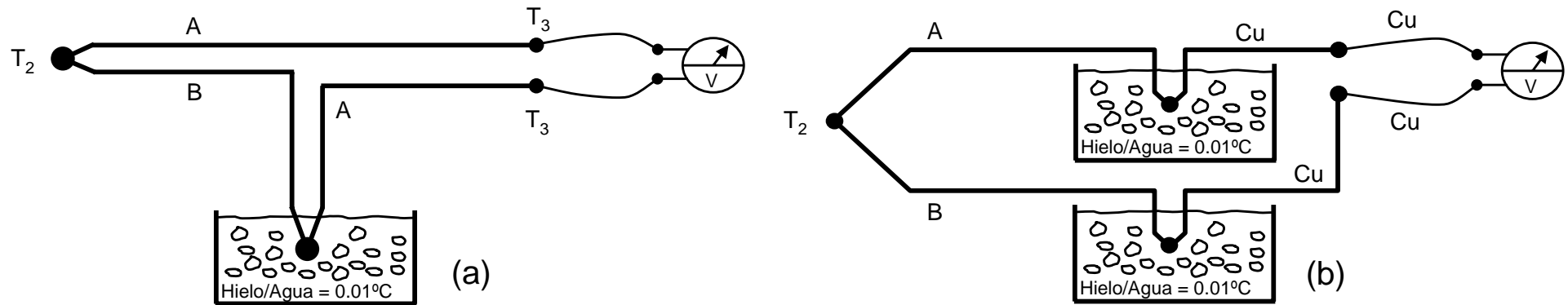
En el segundo circuito, la conexión es en paralelo y, si todos los termopares tienen la misma resistencia, se obtiene a la salida una tensión que corresponde a la temperatura media de las uniones de medida.



Compensación de la unión de referencia en circuitos de termopares

Para aplicar el efecto Seebeck a la medida de temperaturas, es necesario mantener una de las uniones a la temperatura de referencia. Una solución consiste en introducir la unión de referencia en hielo fundente, tal como se indica en la figura (a). Esta solución, aunque de gran exactitud, es poco práctica. Además se debe usar mucho hilo de uno de los dos metales, y esto es caro.

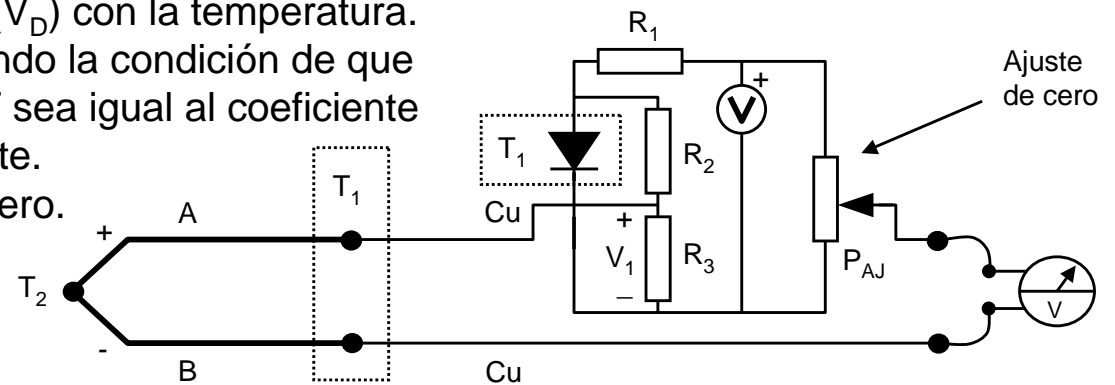
La solución de la figura (b) permite emplear un hilo de conexión más económico, pero sigue precisando el mantenimiento de una temperatura de referencia constante.



Lo más frecuente es emplear la denominada compensación electrónica de la unión de referencia. Consiste en dejar la unión fría a la temperatura ambiente y medir esta con otro sensor dispuesto en sus cercanías. A la tensión del termopar se le suma la tensión que corresponde a la temperatura ambiente. De forma que es como si la unión fría estuviera a 0°C. En la figura se muestra un ejemplo de compensación de la unión fría basado en la dependencia de la tensión directa en un diodo (V_D) con la temperatura.

El circuito de compensación se diseña estableciendo la condición de que la corriente por el diodo sea de 1mA y que dV_1/dT sea igual al coeficiente de Seebeck en el margen de temperatura ambiente.

El potenciómetro (P_{AJ}) se incluye para ajustar el cero. Se toman como datos la tensión umbral del diodo y su derivada con la temperatura.

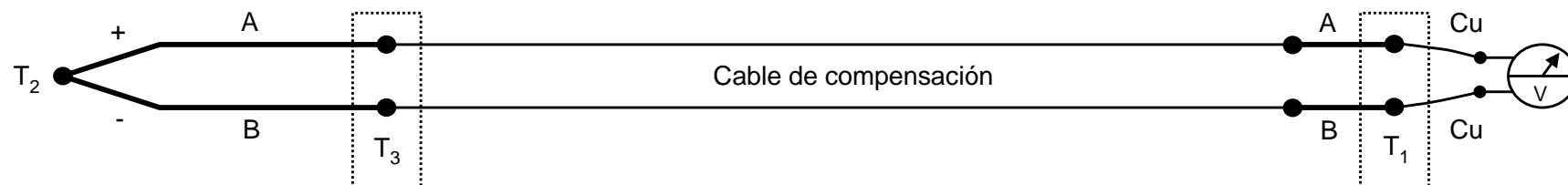


$$V_D(25^\circ\text{C})=0.6\text{V y } dV_D/dT=-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$$

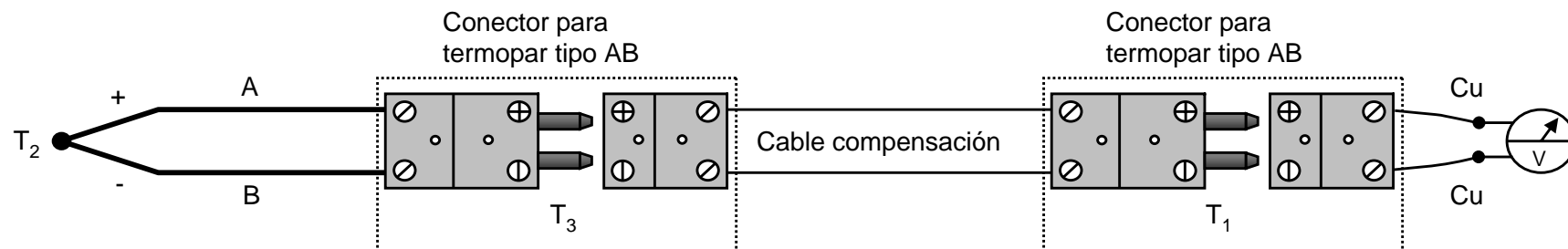
Uso de los cables de compensación para termopares

Cuando el punto cuya temperatura se quiere medir está alejado, se suelen utilizar los cables de compensación para conectar el termopar con el sistema de medida. Estos cables son mucho más baratos que los del termopar y no introducen una tensión apreciable en el circuito aunque los extremos estén a temperaturas diferentes.

En la figura se muestra un esquema simplificado. La temperatura T_3 puede variar sin introducir error. Los cables de compensación son específicos para cada termopar. Suelen ser tres o cuatro veces más caros que los cables de cobre.



En la figura se muestra un esquema más real. Las uniones entre el termopar y el cable de compensación y entre el cable de compensación y el sistema de medida, deben hacerse con conectores específicos para el tipo de termopar que se esté utilizando.



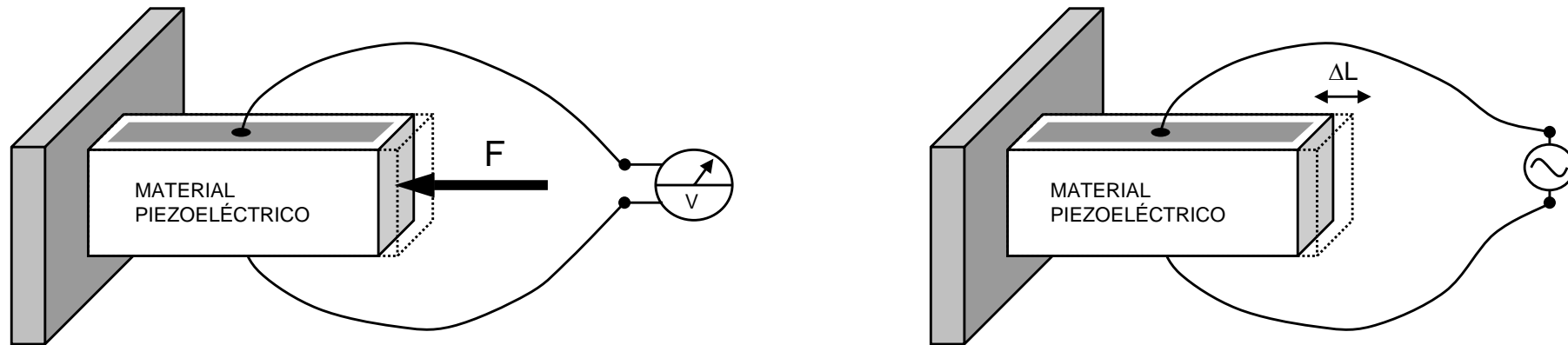
SENSORES PIEZOELECTRICOS

El efecto piezoeléctrico consiste en la aparición de una polarización eléctrica en un material al deformarse bajo la acción de un esfuerzo.

Es un efecto reversible, de modo que al aplicar una diferencia de potencial eléctrico a un material piezoeléctrico, aparece una deformación.

Estos fenómenos fueron descubiertos por Jacques y Pierre Curie en 1880.

La piezoelectricidad está relacionada con la estructura cristalina de los materiales.



Las propiedades piezoeléctricas se manifiestan en 20 de las 32 clases cristalográficas, aunque en la práctica se usan sólo unas pocas.

Entre los materiales piezoeléctricos naturales, los de uso más frecuente son el cuarzo y la turmalina.

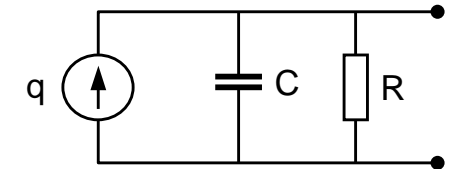
En cuanto a las sustancias sintéticas, las que han encontrado más aplicación como materiales piezoeléctricos son las cerámicas.

SENSORES PIEZOELÉCTRICOS (continuación)

Aplicaciones

La aplicación del efecto piezoeléctrico está sujeto a una serie de **limitaciones**.

- ✓ La **resistencia eléctrica** que presentan los materiales piezoeléctricos aunque es muy grande no es infinita. De modo que al aplicar un esfuerzo constante se genera inicialmente una carga que inevitablemente es drenada al cabo de un tiempo. Por lo tanto, no tienen respuesta en continua. En la figura se muestra el circuito equivalente de un sensor piezoeléctrico.
- ✓ Estos sensores presentan un pico en la respuesta para la **frecuencia de resonancia**. Por tanto, es preciso trabajar siempre a frecuencias muy inferiores a la de resonancia mecánica.
- ✓ La sensibilidad presenta **derivas con la temperatura**. Además, por encima de la temperatura de Curie (específica para cada material) desaparece el efecto piezoeléctrico.
- ✓ La **impedancia de salida** de estos sensores es **muy alta**, por lo que para medir la tensión de salida es preciso utilizar amplificadores con una impedancia de entrada enorme. Son los denominados amplificadores electrométricos o de carga.



Entre las **ventajas** de los sensores piezoeléctricos destacaremos las siguientes:

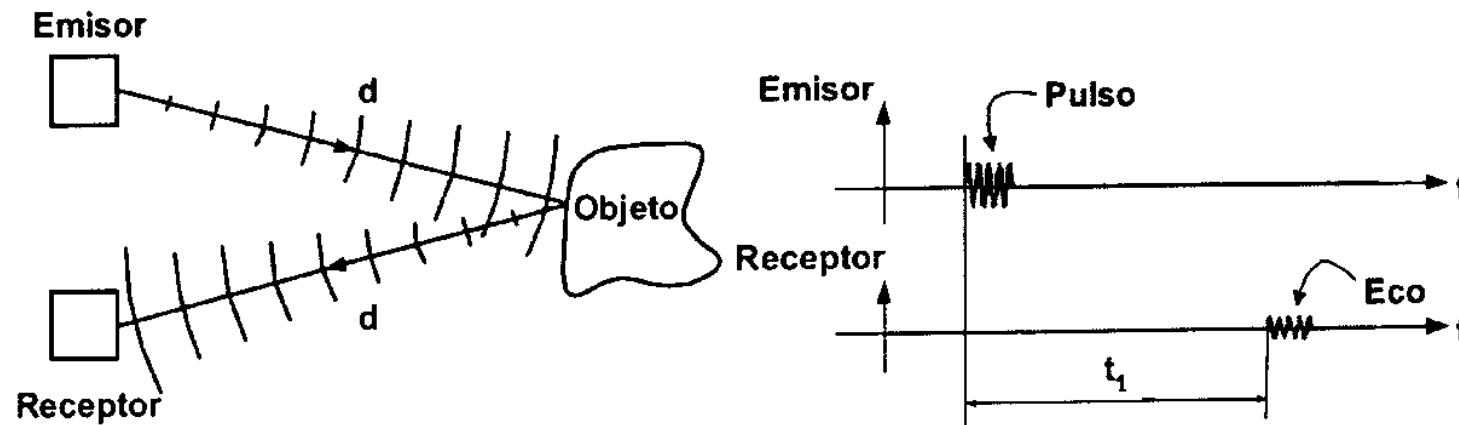
- ✓ **Alta sensibilidad**, obtenida muchas veces a bajo coste.
- ✓ **Alta rigidez mecánica**; las deformaciones experimentadas son inferiores a $1\mu\text{m}$. Esta alta impedancia mecánica es conveniente para la medida de variables esfuerzo (fuerza, presión, etc)
- ✓ **Pequeño tamaño** y posibilidad de obtener dispositivos con **sensibilidad unidireccional**.

Estas características hacen a este tipo de sensores especialmente adecuados para medir todo tipo de vibraciones. Por ejemplo una aplicación típica es como micrófono. También se utilizan mucho en la detección por ultrasonidos.

SENSORES PIEZOELÉCTRICOS (continuación)

Algunas de las aplicaciones más frecuentes de los sensores piezoeléctricos están en el campo de los ultrasonidos. Especial mención requieren (por ser muy numerosos) los dispositivos que utilizan técnicas de impulso-eco: detectores de grietas o anomalías en estructuras, detectores de presencia, equipos de ecografía, medidores de distancias, etc.

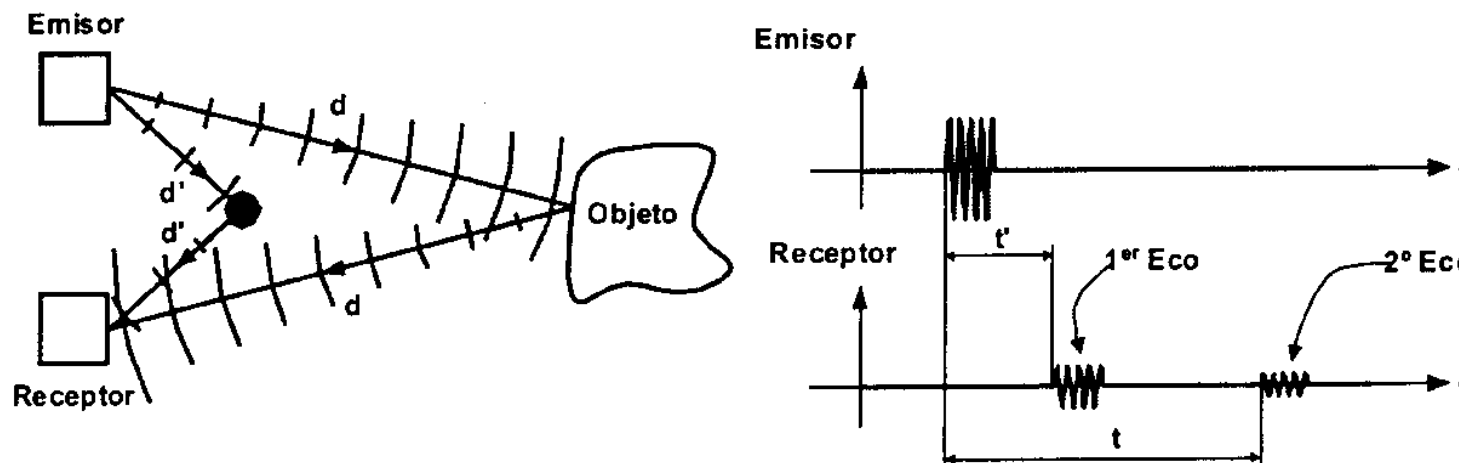
En la figura se muestra el principio básico de funcionamiento de un medidor de distancias por ultrasonidos.



Si la velocidad del sonido en el medio de propagación es V_S :

$$d = \frac{1}{2} V_S t_1$$

La velocidad de propagación del sonido en un medio se puede ver alterada por variaciones de temperatura, densidad y presión. Colocando un objeto a una distancia conocida (d') y midiendo el tiempo de los dos ecos se supera este problema.



$$V_S = \frac{2d'}{t'}$$

$$d = V_S \frac{t}{2} \Rightarrow d = d' \frac{t}{t'}$$

SENSORES FOTOVOLTAICOS

Cuando el efecto fotoeléctrico se produce en la barrera de potencial de una unión PN se denomina efecto fotovoltaico.

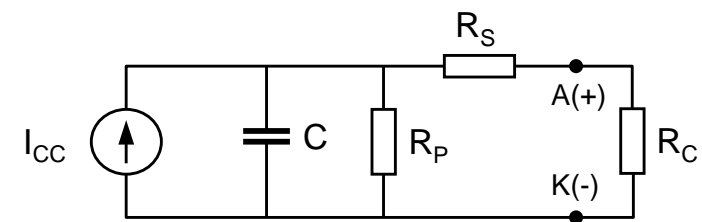
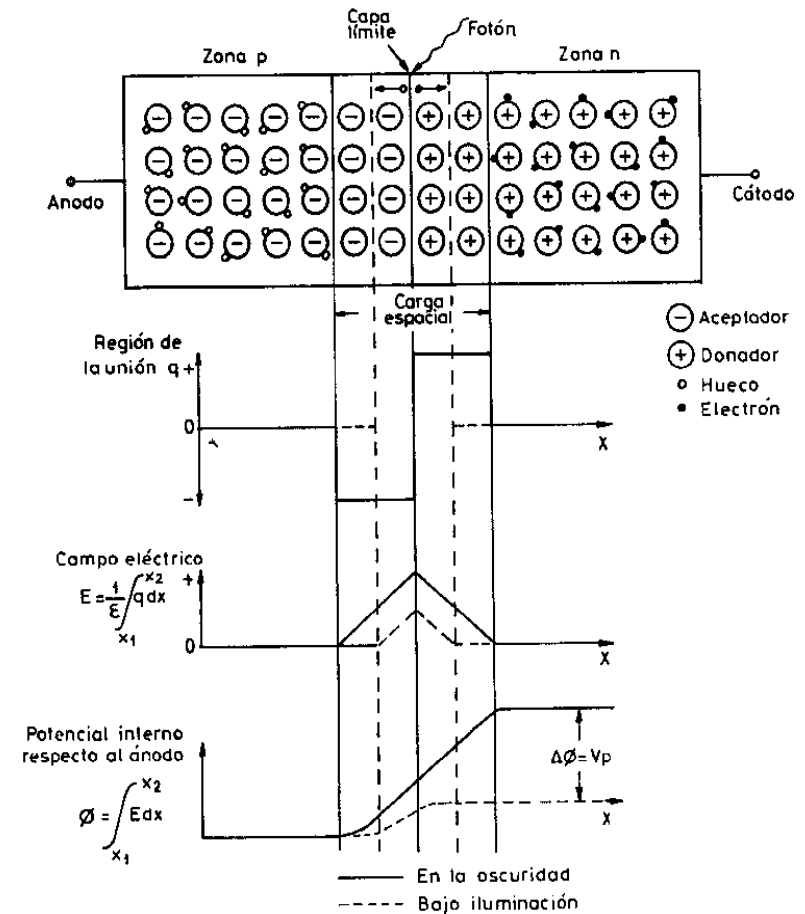
Si la unión PN, en circuito abierto, se somete a una radiación cuya energía supere la anchura de la banda prohibida, aparecen pares electrón-hueco adicionales que se desplazan bajo la acción del campo eléctrico en la zona de la unión. La llegada de electrones a la zona N y de huecos a la zona P, produce una reducción del potencial de contacto de valor V_P , que se puede medir mediante conexiones externas a una resistencia de carga. Esta tensión aumenta al aumentar la intensidad de la radiación incidente hasta llegar a la saturación. Si se cortocircuitan los contactos la corriente es proporcional a la intensidad luminosa recibida en un amplio margen.

Un fotodiodo, bajo radiación, genera una corriente en el sentido cátodo-ánodo y una tensión ánodo-cátodo positiva, es decir, se comporta como una fuente de tensión dependiente de la iluminación recibida.

La gama de longitudes de onda a la que es sensible el sensor depende del material semiconductor utilizado.

Los sensores fotovoltaicos se emplean tanto en aplicaciones donde se mide la luz como en aplicaciones donde la luz se emplea como medio para detectar otra magnitud.

Se comercializan modelos constituidos por un par emisor-detector adaptados, e incluso conectados a un relé para control.



Circuito equivalente para un sensor fotovoltaico