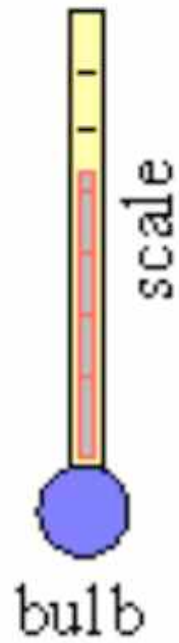
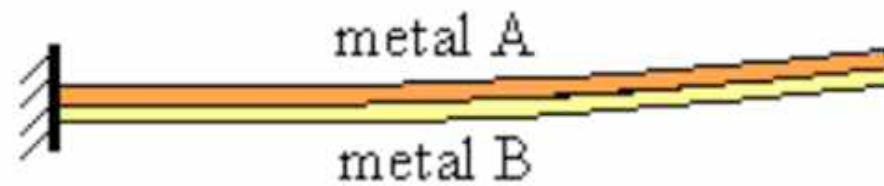
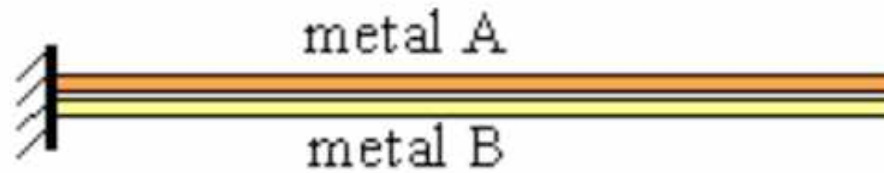


# Sensores de Temperatura

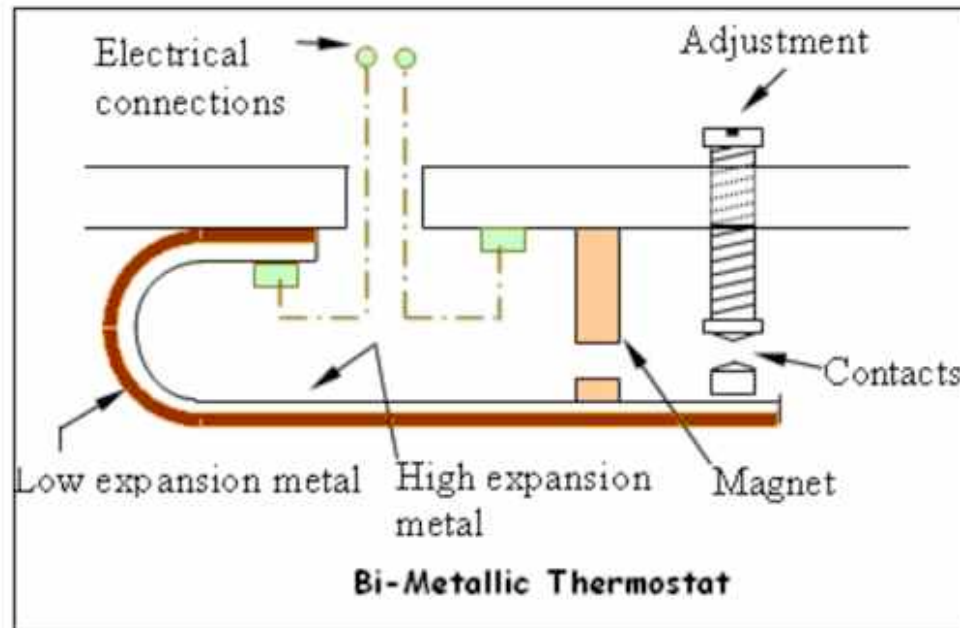


Liquido (Mercurio) en la botella

## de banda bi-metalica



$$\Delta l = \alpha l_0 (T - T_0)$$
$$\alpha \approx 10^{-5} / ^\circ C$$

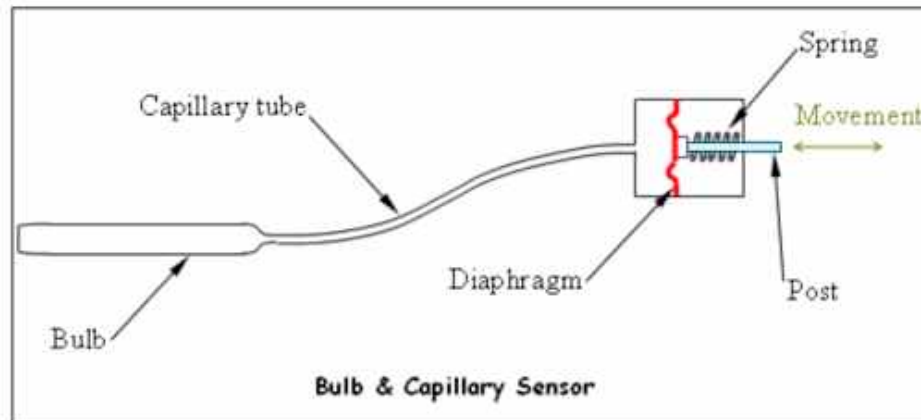
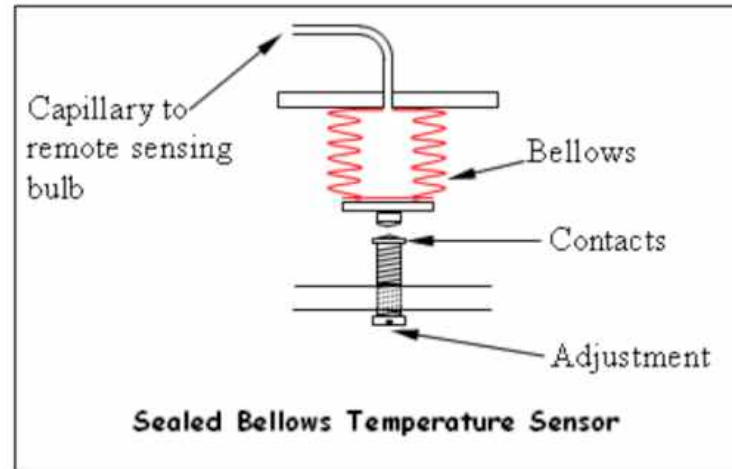


Aplicaciones:

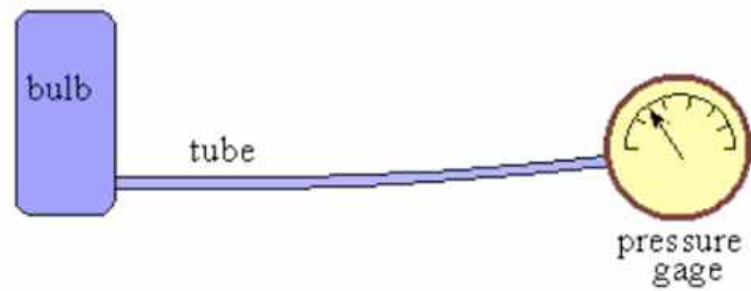
Termostatos de aire acondicionado

Termómetros de horno (sensor en forma de espiral con “dial” al final)

# Basados en la transmisión de presión en un fluido



## Uso directo de un sensor de presión



# Resistance Temperature Detectors (RTDs)

$$R = R_0 (1 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + \dots + a_nT^n)$$
$$\approx R_0 (1 + a_1T)$$

Para Platino

$$a_1 = 0.00392/^\circ C$$

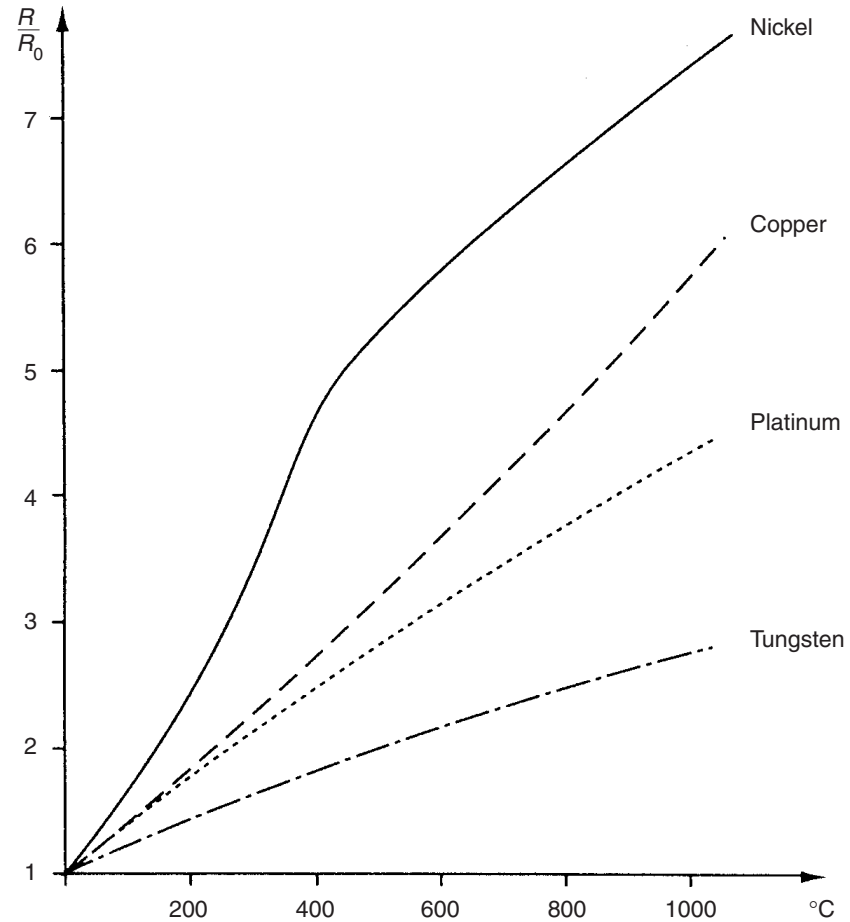


Fig. 14.8 Typical resistance-temperature characteristics of metals.

# RTD's

- Platino

- más común
- más inerte químicamente
- respuesta aprox. lineal
- estable (no cambia con el tiempo)
- más caro que los otros

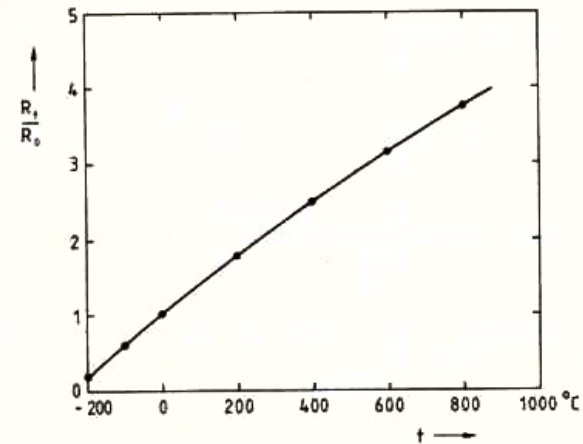
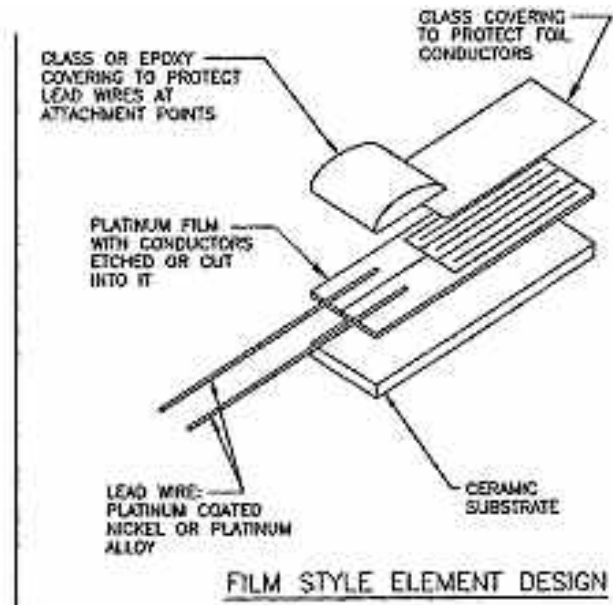
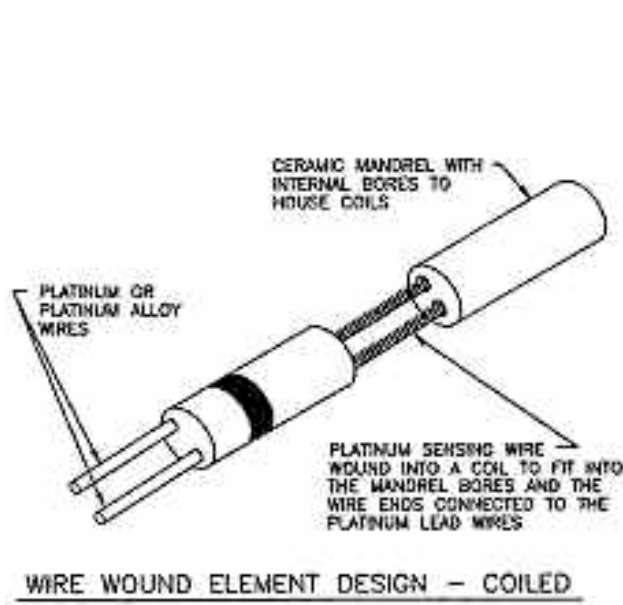


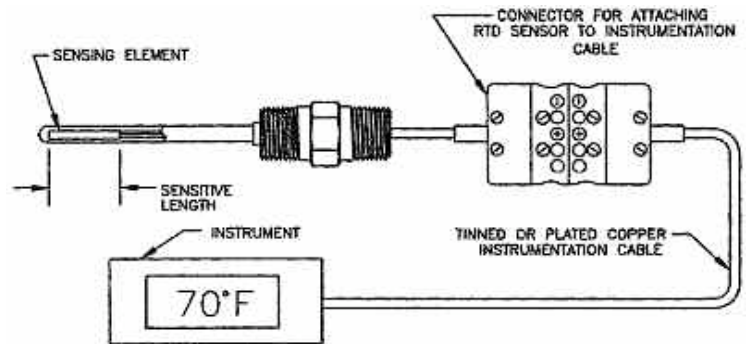
Fig. 4.13 Resistivity of platinum as a function of the temperature.



<http://archives.sensormag.com/articles/0101/24/index.htm>

### Sensing Element Materials and Temperature Limits

Material	Usable Temperature Range
Platinum	-450°F to 1200°F
Nickel	-150°F to 600°F
Copper	-100°F to 300°F
Nickel/Iron	32°F to 400°F



- Relación T versus  $v_0$
- Auto-calentamiento
  - $F_{SH}$  : factor de auto-calentamiento
  - error en  $T = F_{SH} \times P$ 
    - $P =$  potencia disipada en RTD
- Resistencia de alambres y configuración de tres hilos

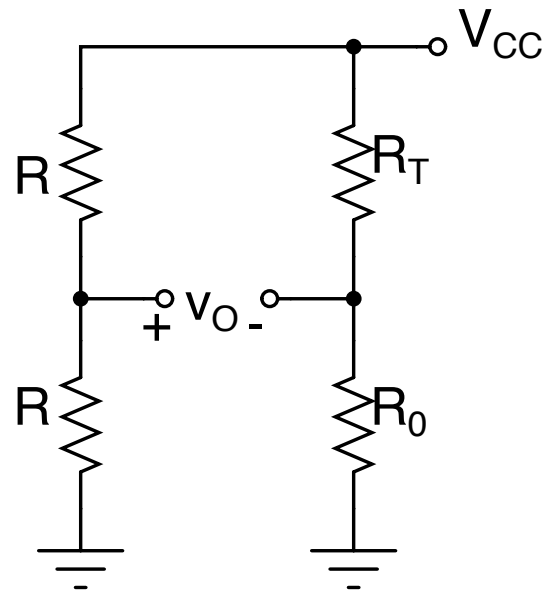
Ejemplo: Se desea usar un RTD de Platino para medir temperaturas entre 0 y 50°C con un error debido a auto-calentamiento no mayor a 1°C.

Seleccione  $V_{CC}$  si

$$R_0 = 100\Omega \text{ a } 0^\circ\text{C}$$

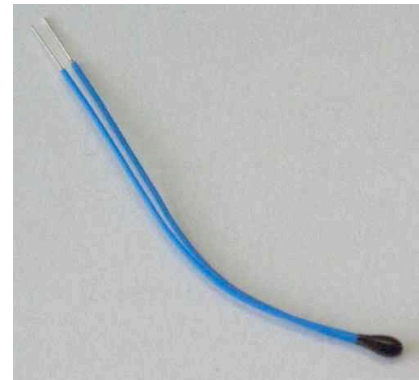
$$a_1 = 0.00392/^\circ\text{C}$$

$$F_{SH} = 0.5^\circ\text{C}/\text{mW}$$



# Termistores

- Cerámica semiconductoras com Mg, Co, Cu, Fe, etc)
- $\Delta R \approx k\Delta T$ ; PTC ( $k > 0$ ) or NTC ( $k < 0$ )
- Alta sensibilidad
- típicamente opera a  $T < 100^\circ\text{C}$



$$\rho(T) = \rho(T_0) \exp \left( -\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right)$$
$$3000^\circ K < \beta < 5000^\circ K$$

## Ecuación de Steinhart-Hart

$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C(\ln R)^3$$

T = temperatura absoluta

R = resistencia a temperatura T

A, B = Coeficientes que se deben determinar mediante calibración

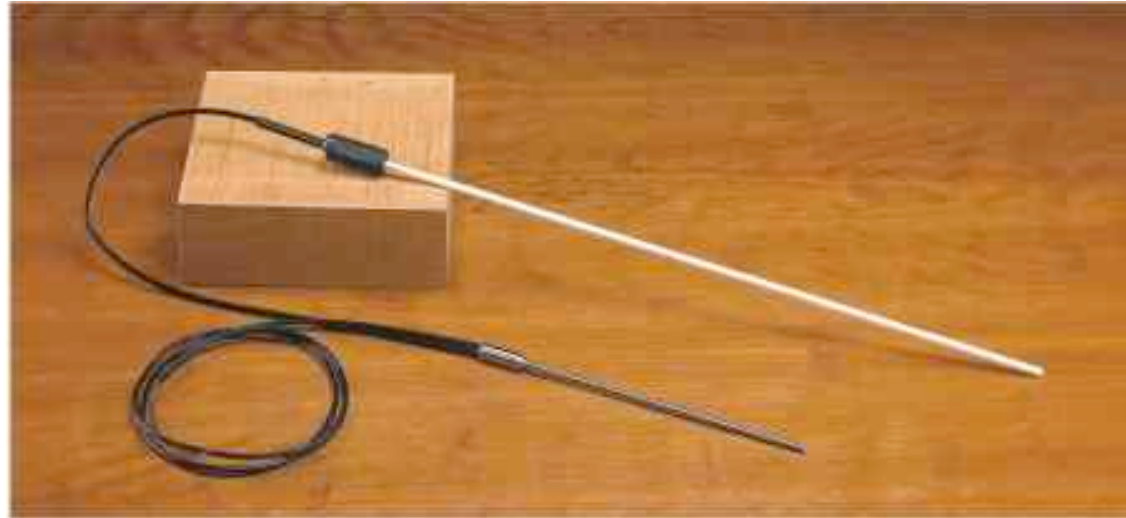
Calibración:

medir  $R_1, R_2$  y  $R_3$  a temperaturas (conocidas)

$T_1, T_2,$  y  $T_3$

resolver las tres ecuaciones por A, B y C

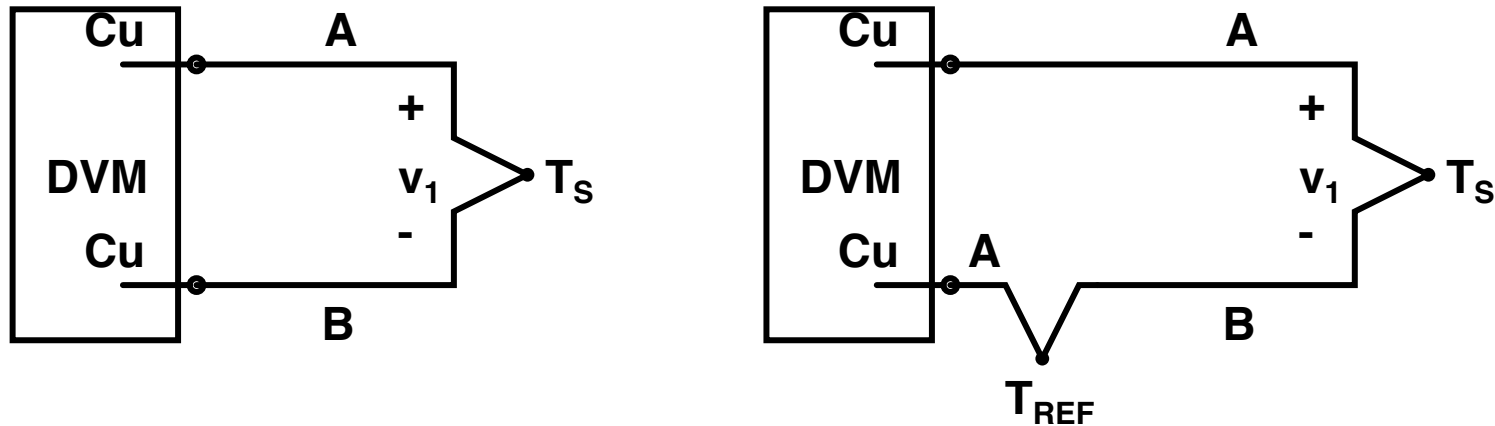
# Termopares



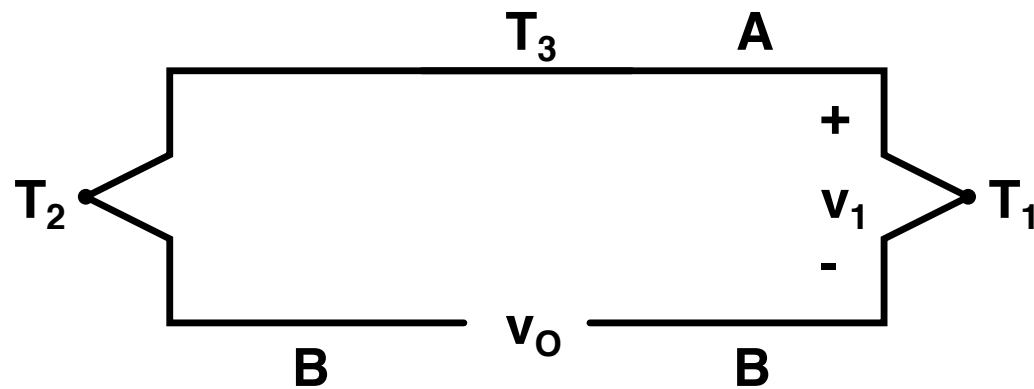
<http://www.hartscientific.com>

**Efecto de Seebeck:** cuando alambres contruidos con dos materiales conductores distintos están físicamente unidos en un extremo y separados en el otro, y existe una diferencia de temperatura entre los dos extremos, se desarrolla una diferencia de voltaje entre los dos alambres en el lado en que están separados.

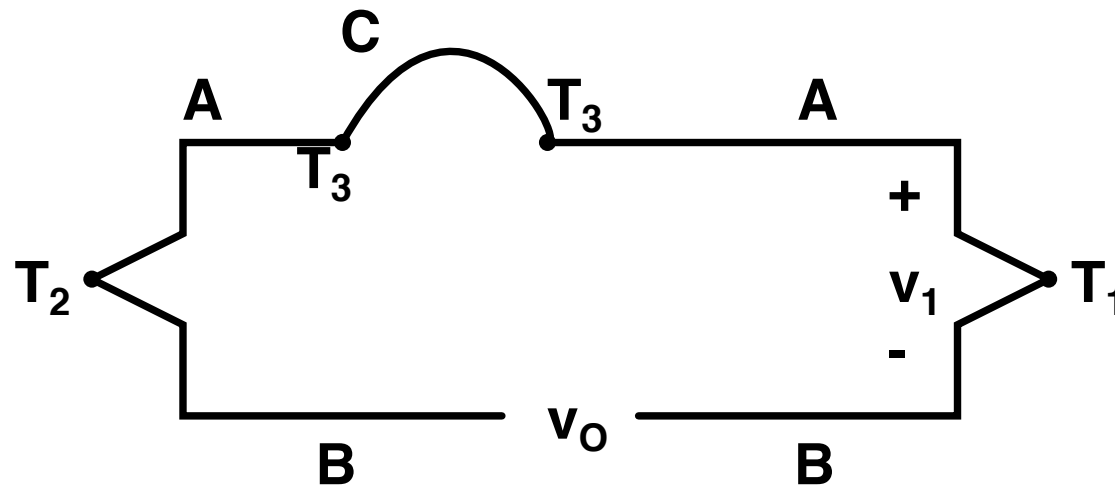
tipo	materiales	
K	<b>chromel-alumel</b>	<b>-200°C to 1350°C 41µV/°C</b>
E	<b>chromel-constatan</b>	<b>68µV/°C</b>
J	<b>Hierro-constatan</b>	<b>-40 to 750°C; 50µV/°C</b>
N	<b>Nicrosil-Nisil</b>	<b>to 1200°C; 39µV/°C</b>
B	<b>30% rhodium-platinum &amp; 6% rhodium-platinum</b>	<b>50°C to 1800°C; 10µV/°C</b>
R	<b>13% rhodium-platinum &amp; platinum</b>	<b>50°C to 1600°C; 10µV/°C</b>
S	<b>10% rhodium-platinum &amp; platinum</b>	<b>50°C to 1600°C; 10µV/°C</b>
T	<b>Copper-Constatan</b>	<b>-200°C to 350°C; 43µV/°C</b>
C	<b>tungsten-5% rhenium &amp; tungsten-26% rhenium</b>	<b>0°C to 2320°C</b>



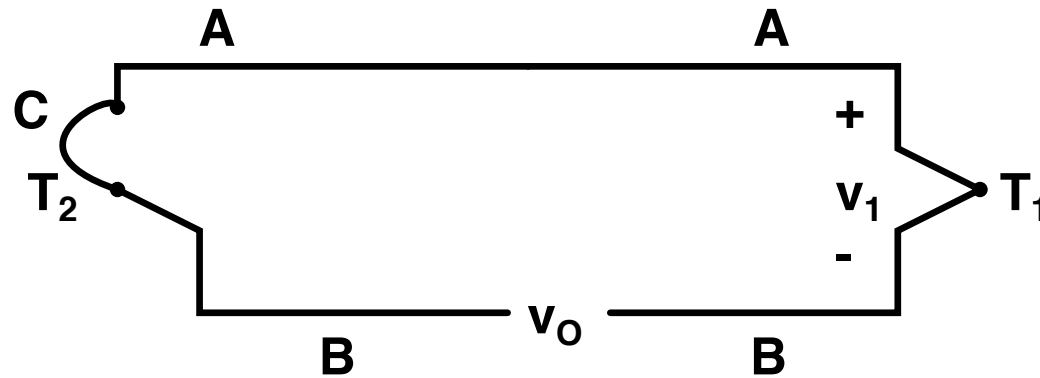
Al conectar el termopar al aparato de medición se crean juntas adicionales. El problema se soluciona añadiendo la junta de referencia, la cual muchas veces se mantiene en hielo para proveer una  $T_{REF} = 0^{\circ}\text{C}$



Solo las juntas producen voltajes. La salida es independiente de la temperatura de otras partes del circuito.



El tercer metal C provee dos juntas que se cancelan y por lo tanto no afectan la lectura.



## Ley de metales intermediarios

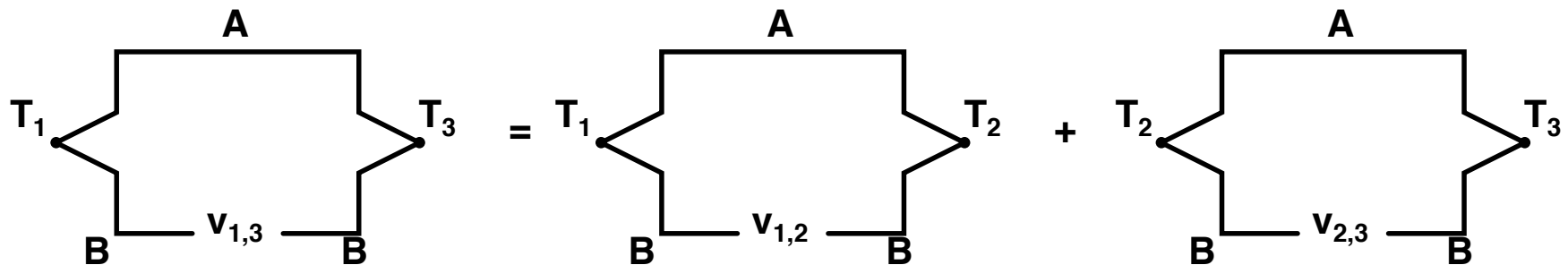
$$v_O = e_{B,C}T_2 + e_{C,A}T_2 + e_{A,B}T_1$$

$$e_{B,A} = e_{B,C} + e_{C,A}$$

$$e_{C,A} = e_{B,A} - e_{B,C}$$

$$v_O = e_{B,C}T_2 + e_{B,A}T_2 - e_{B,C}T_2 + e_{A,B}T_1$$

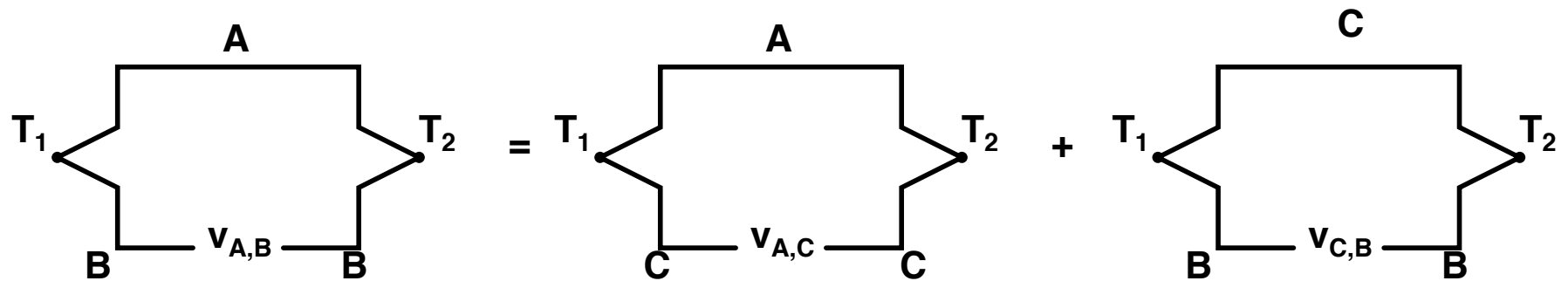
$$v_O = e_{B,A}(T_2 - T_1)$$



Permite usar tablas hechas a una  $T_{REF}$  distinta a la usada

Ejemplo: tipo K con  $T_{REF}=25^{\circ}\text{C}$ ;  
 $v = 7.4\text{mV}$

Cuanto es  $T$ ?

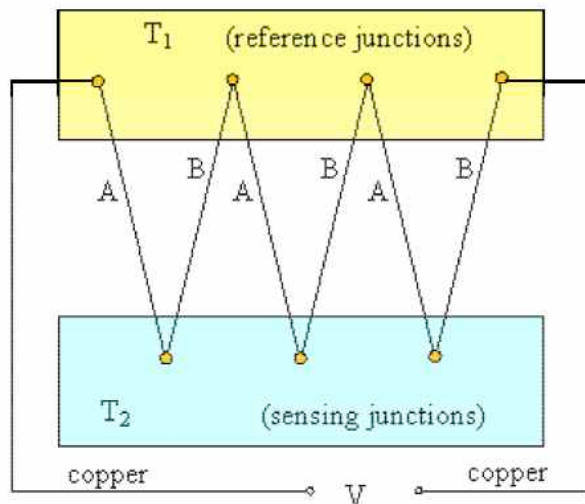
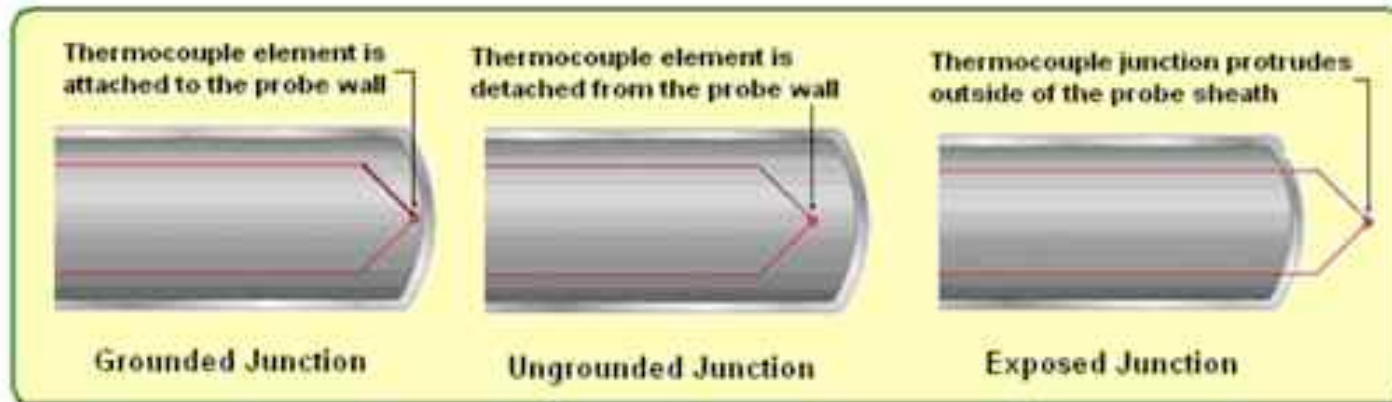


Podemos usar esta relación para preparar una tabla usando tablas para los otros materiales

Tipo J	Hierro-Constatan
Tipo T	Cobre-Constatan

Restando los voltajes podemos construir la tabla de Hierro-Cu

# Tipos de empaque



**Termo-pila**  
usa varias juntas de materiales distintos para más sensibilidad