

Física Experimental / Laboratorio I

Medición de Temperatura

- Propondremos al menos una práctica que involucre alguna medición de T
- Instrumentos para determinar cuantitativamente calor -frio
- Temperatura – manifestación de la energía térmica presente en la materia

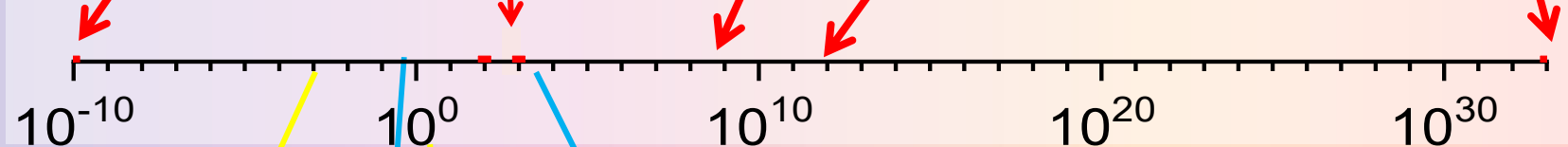
Temperatura mas
baja obtenida
artificialmente
Ordenamiento de
momentos
nucleares 100pK

Plasma en
reactores de
fusión 500 MK

Teoría, 10^{-44} s
después del Big
Bang

Vida cotidiana

LHC 2 TK



Temperatura (K)

las convenciones para medir
temperatura se basan en
fenómenos físicos y puntos fijos.

0.65 K

ITS-90

1358 K

International Temperature Scale

0.9 mK

PLTS-2000

1 K

Preliminary Low Temperature Scale

Preliminary Low Temperature Scale

International Temperature Scale

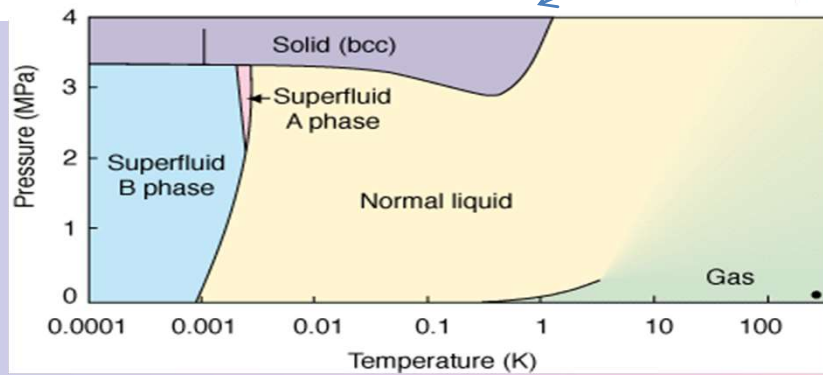
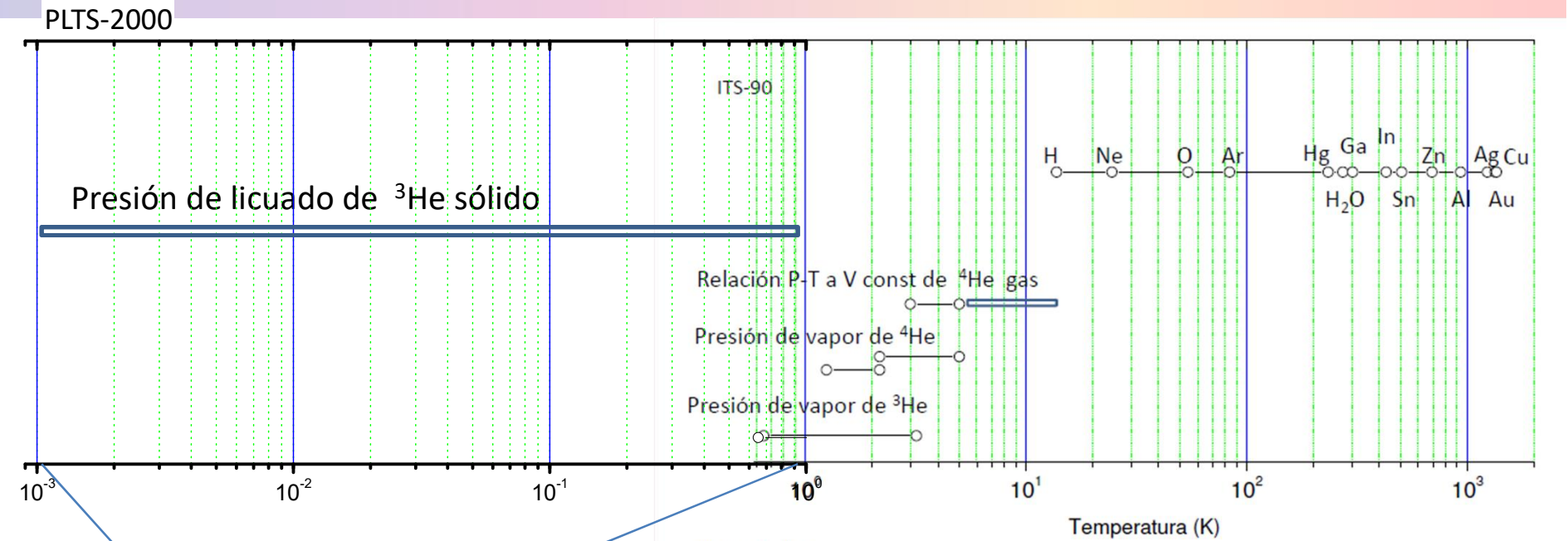
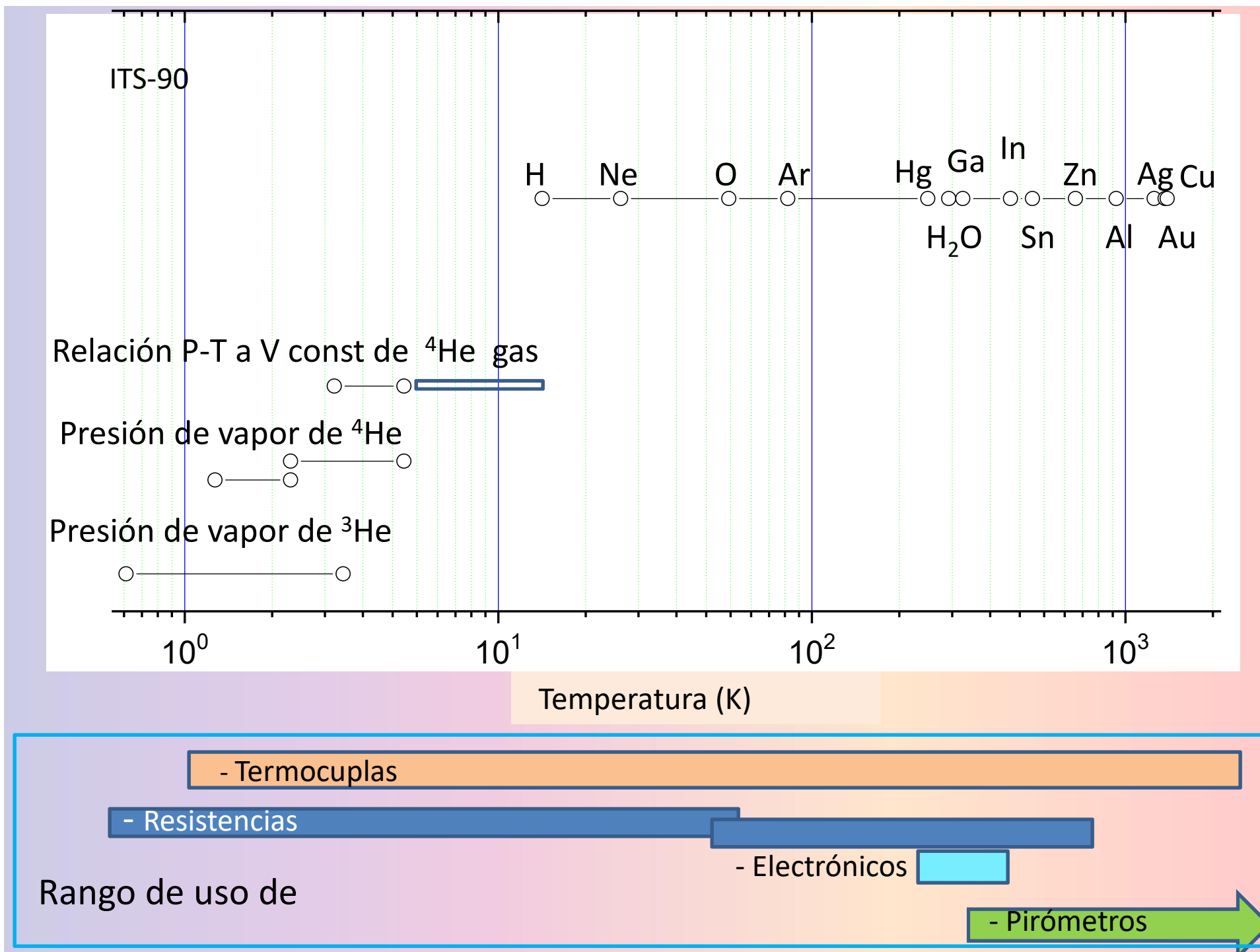


Diagrama de Fases He^3



Termómetros que se usan en el laboratorio

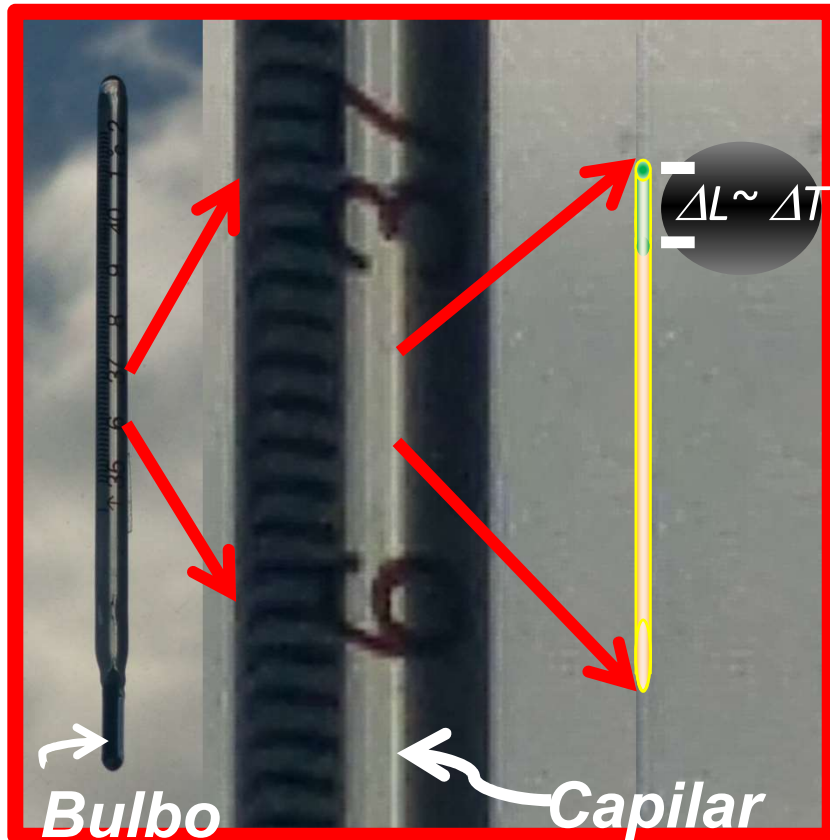
Inmersos
en el
medio de
interés

- Expansión térmica de sólidos, líquidos o gases
- Poder termoeléctrico: Termocuplas
- Resistencia eléctrica de metales o semiconductores
- Termómetros electrónicos

- Emisión de radiación: Pirómetros

Medición a
distancia

Expansión térmica de sólidos, líquidos o gases



$$V = V_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

$$A_0 L = A_0 L_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

$$L = L_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$



Supuesto

A_0 constante a lo largo del tubo

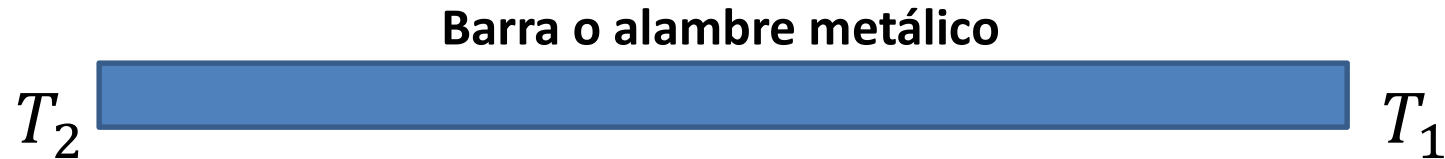
Rango en que la sustancia permanece líquida.

Mercurio, -37C hasta 356C.
Si se incluye un gas inerte (Nitrogeno) y paredes que soporten la presión se puede extender el rango hasta 800C.

$\frac{\Delta V}{V (\Delta T)}$	Alcohol	$1.01 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
	Mercury	$1.8 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$

Poder termoeléctrico: Termocuplas

Efecto Seebeck

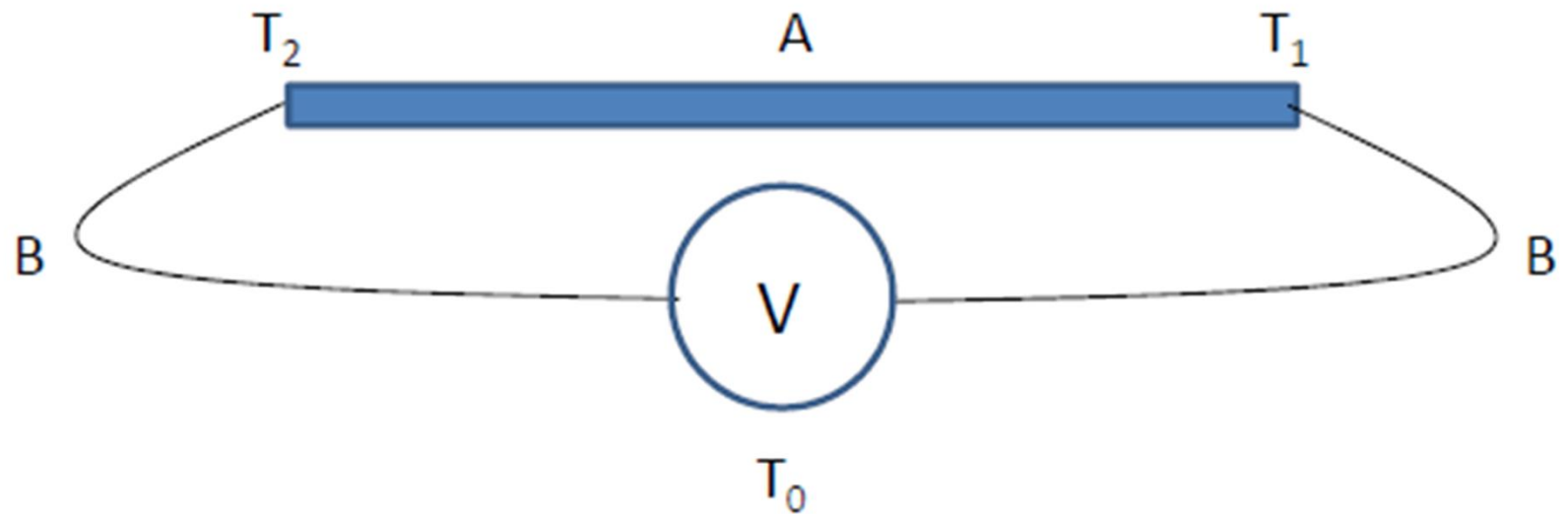


$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} + L_{ET} \vec{\nabla} T$$

$$\text{si } \vec{J} = 0 \quad \vec{E} = -\frac{L_{ET}}{\sigma} \vec{\nabla} T = -S \cdot \vec{\nabla} T$$

$$V = -\int_1^2 E \cdot dx = \int_1^2 S \cdot \frac{dT}{dx} \cdot dx = \int_{T_1}^{T_2} S \cdot dT$$

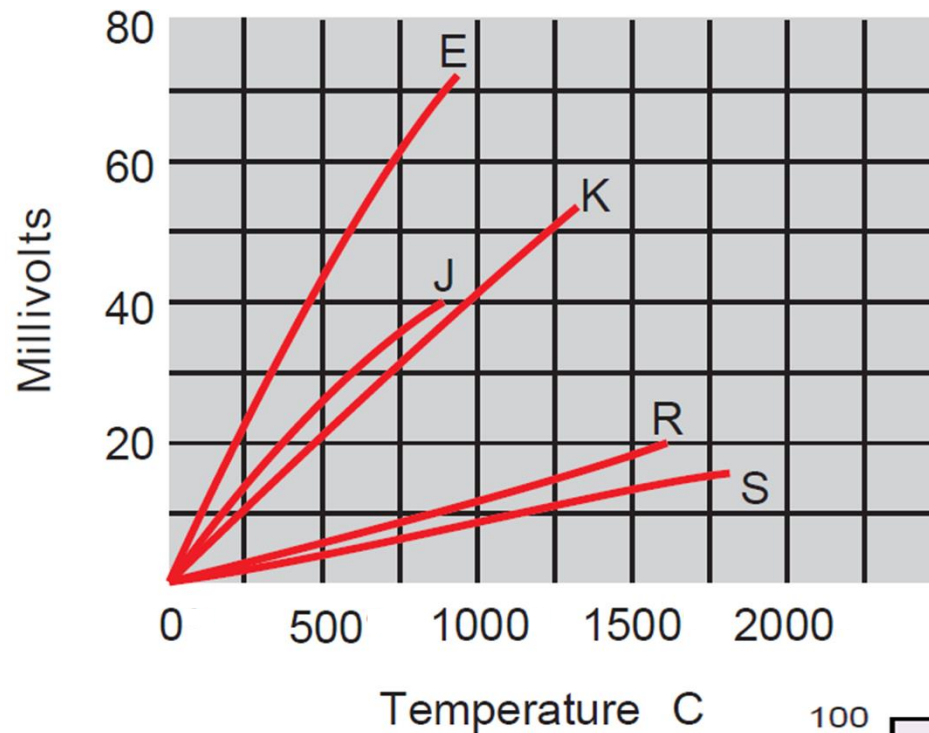
Termocuplas



$$V = \int_{T_0}^{T_1} S_B \cdot dT + \int_{T_1}^{T_2} S_A \cdot dT + \int_{T_2}^{T_0} S_B \cdot dT = \int_{T_2}^{T_1} S_B \cdot dT + \int_{T_1}^{T_2} S_A \cdot dT$$

$$V = \int_{T_1}^{T_2} (S_A - S_B) \cdot dT = \Delta S \cdot (T_2 - T_1)$$

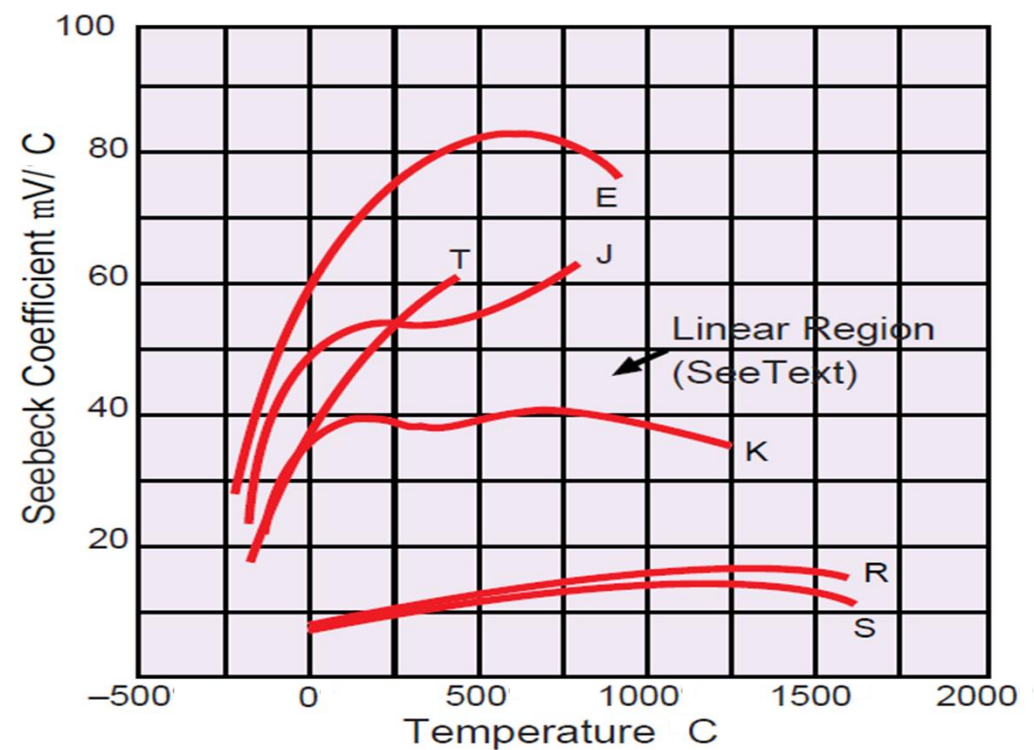
Supuesto $\Delta S \neq f(T)$



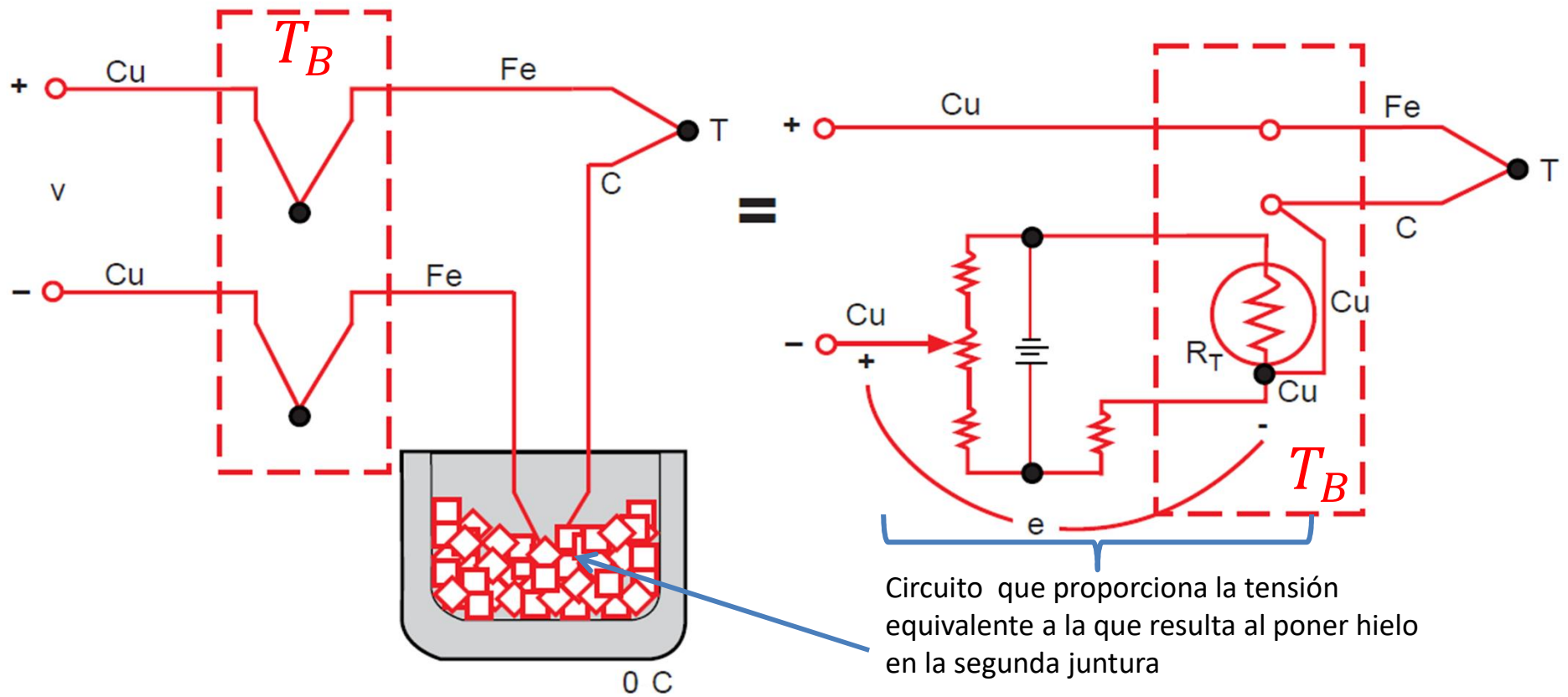
Type	Metals	
	+	-
E	Chromel vs. Constantan	
J	Iron vs. Constantan	
K	Chromel vs. Alumel	
R	Platinum vs. Platinum 13% Rhodium	
S	Platinum vs. Platinum 10% Rhodium	
T	Copper vs. Constantan	

$$V = \Delta S (T_2 - T_1)$$

Las tablas están referidas a
 $T_1 = 0^\circ \text{C}$



CERO ELECTRÓNICO

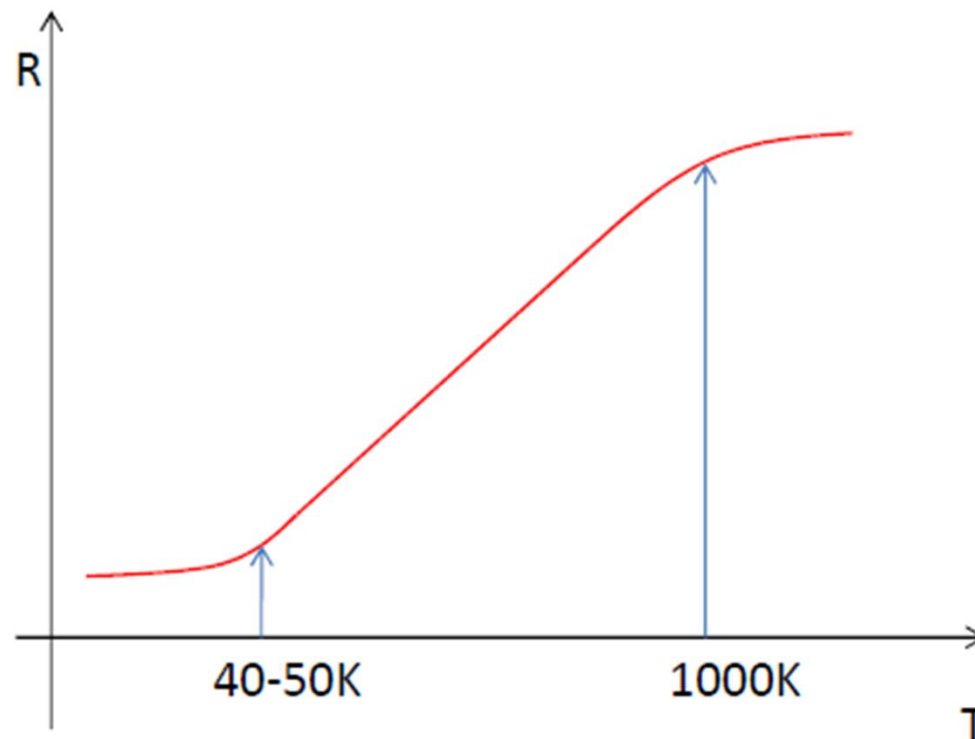
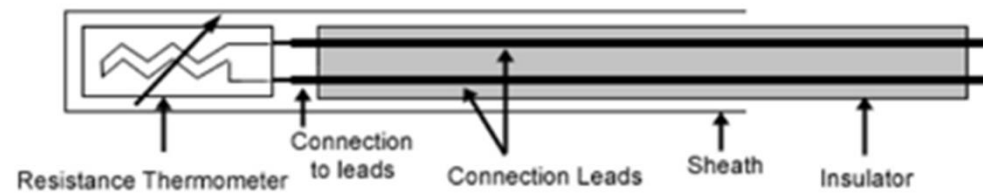


$$V = \int_{T_V}^{T_B} S_{Cu} \cdot dT + \int_{T_B}^T S_{Fe} \cdot dT + \int_T^0 S_C \cdot dT + \int_0^{T_B} S_{Fe} \cdot dT + \int_{T_B}^{T_V} S_{Cu} \cdot dT$$

$$V = (S_{Fe} - S_C) \cdot T$$

- Resistencia eléctrica

Resistencias de metales – (Pt100)



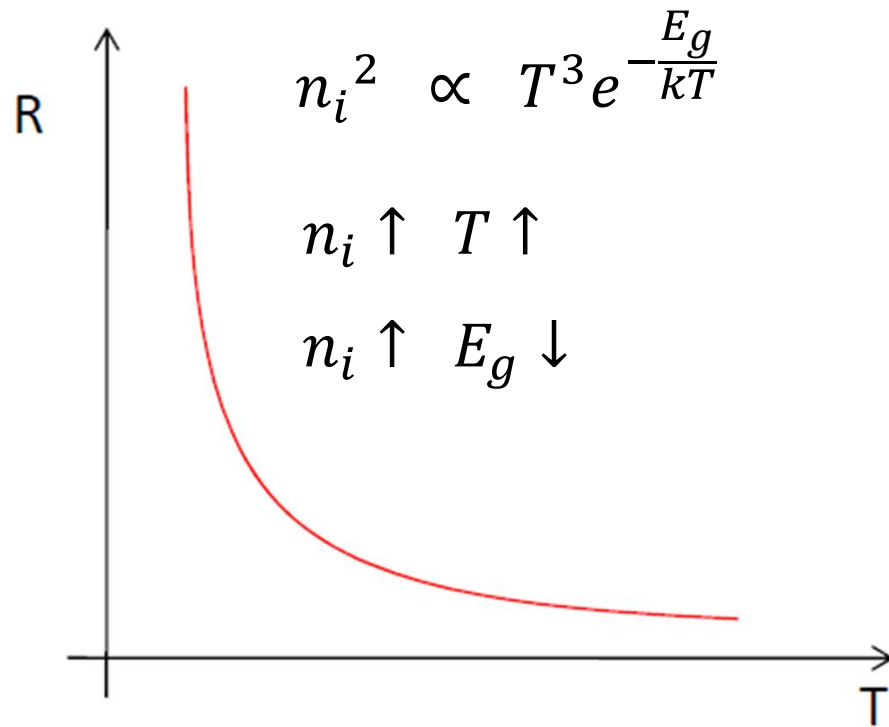
$$\rho = \rho_o (1 + \alpha \cdot T)$$

0,385 $\Omega/^{\circ}\text{C}$
Standard Europeo

0,392 $\Omega/^{\circ}\text{C}$
Standard Americano

- Resistencia eléctrica de semiconductores

Termistores



Semiconductores

$$\frac{dR}{dT} < 0$$

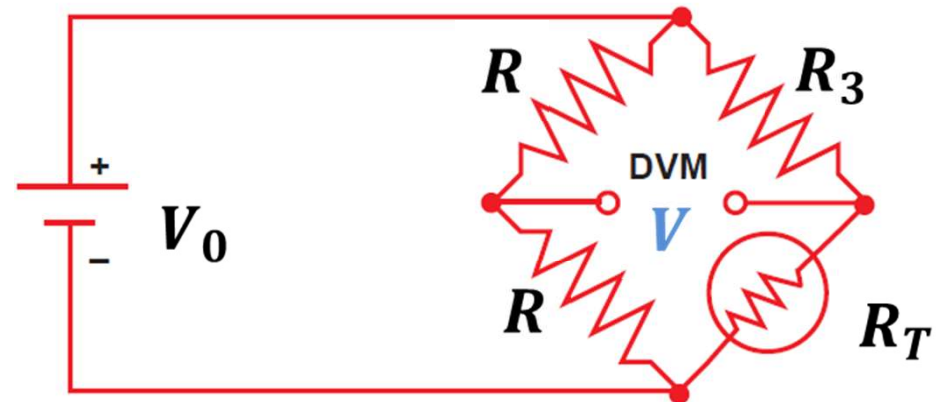
Ecuación de Steinhart-Hart

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

- Se usan principalmente a bajas temperaturas

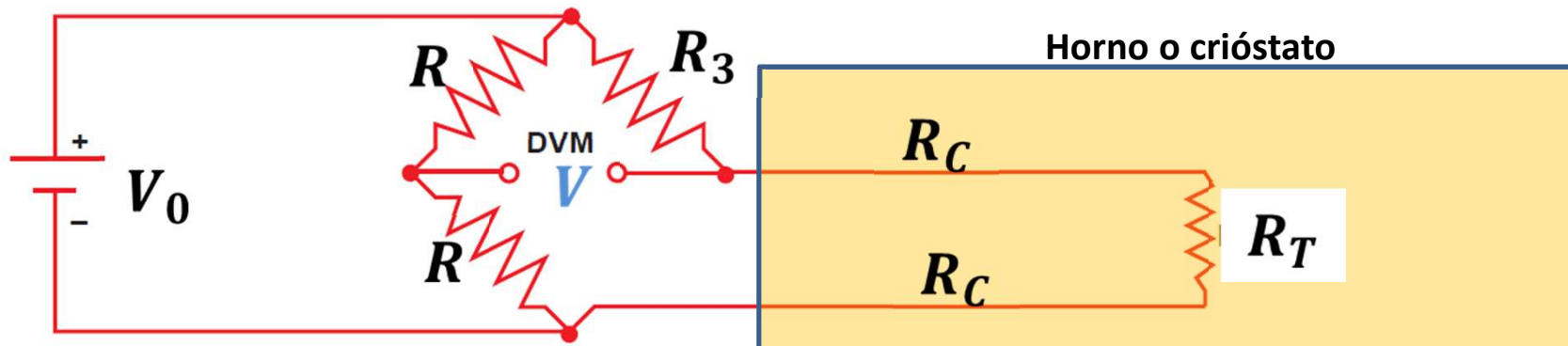
Se suele usar puentes de wheastone para medir resistencias a bajas temperaturas

- Evita la alta disipación (Joule) en el termómetro por la baja corriente con que es posible medir en esta configuración.



WHEATSTONE BRIDGE

$$V = \frac{V_o}{2} \frac{(R_3 - R_T)}{(R_T + R_3)}$$

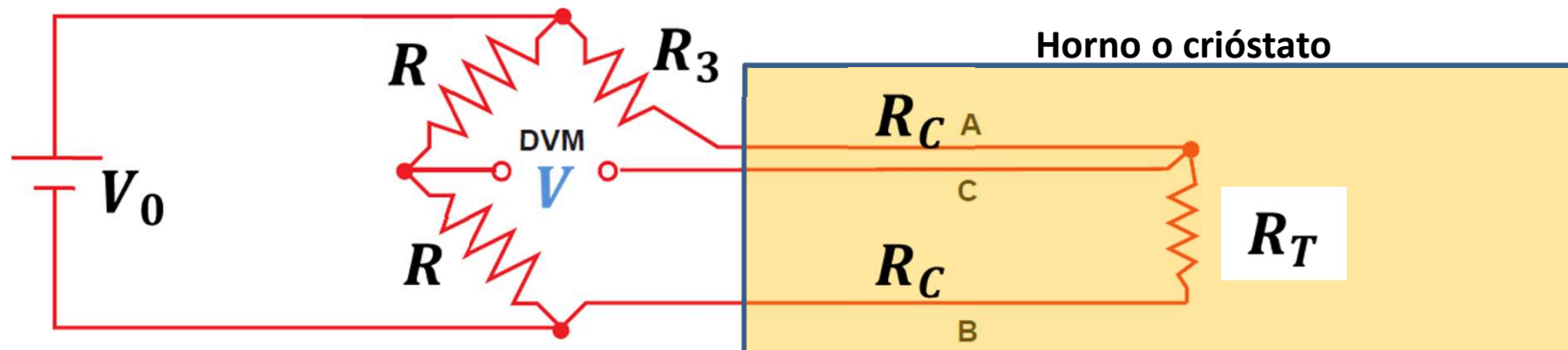
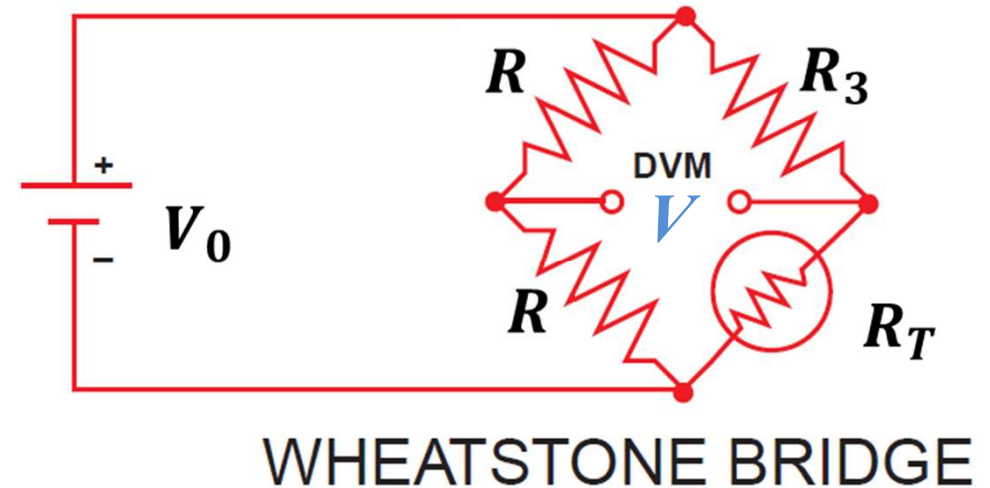


$$V = \frac{V_o}{2} \frac{(R_3 - 2R_C - R_T)}{(R_T + 2R_C + R_3)}$$

Se suele usar puentes de wheastone para medir resistencias a bajas temperaturas

- Evita la alta disipación (Joule) en el termómetro por la baja corriente con que es posible medir en esta configuración.

$$V = \frac{V_o}{2} \frac{(R_3 - R_T)}{(R_T + R_3)}$$



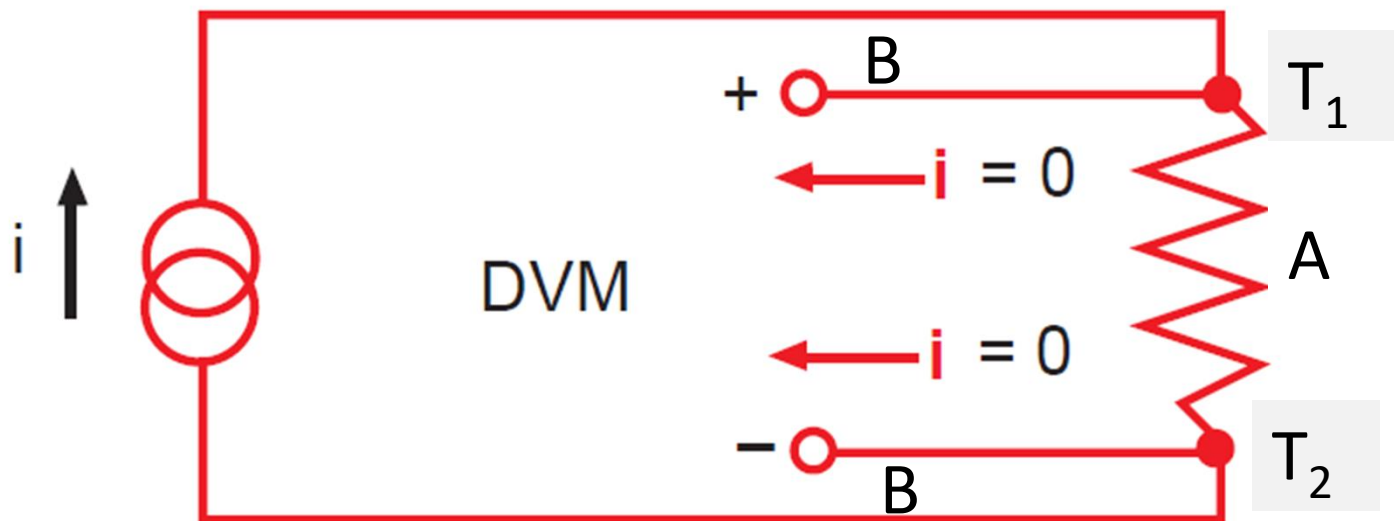
$$V = \frac{V_o}{2} \frac{(R_3 + R_C - (R_T + R_C))}{(R_T + 2R_C + R_3)}$$

- El método de tres puntas evita errores sistemáticos por gradientes de temperatura en los cables.



4-WIRE OHMS MEASUREMENT

Voltaje de termocupla puede aparecer si hubiera una diferencia de T entre los extremos de R_T

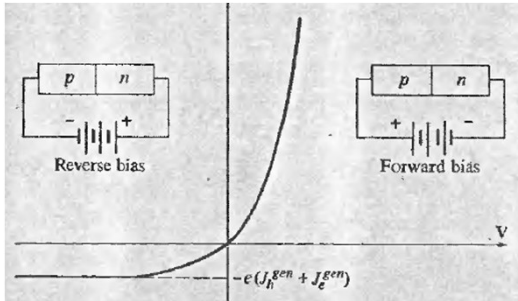


$$V = i R(T) + (S_A - S_B)(T_2 - T_1)$$

Ejercicio: Como eliminar este voltaje de termocupla?

Termómetros digitales

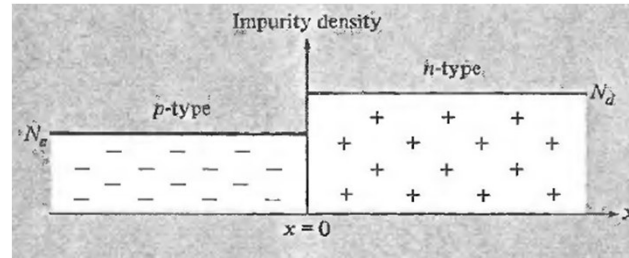
$$I = I_S(T) (e^{qV/kT} - 1)$$



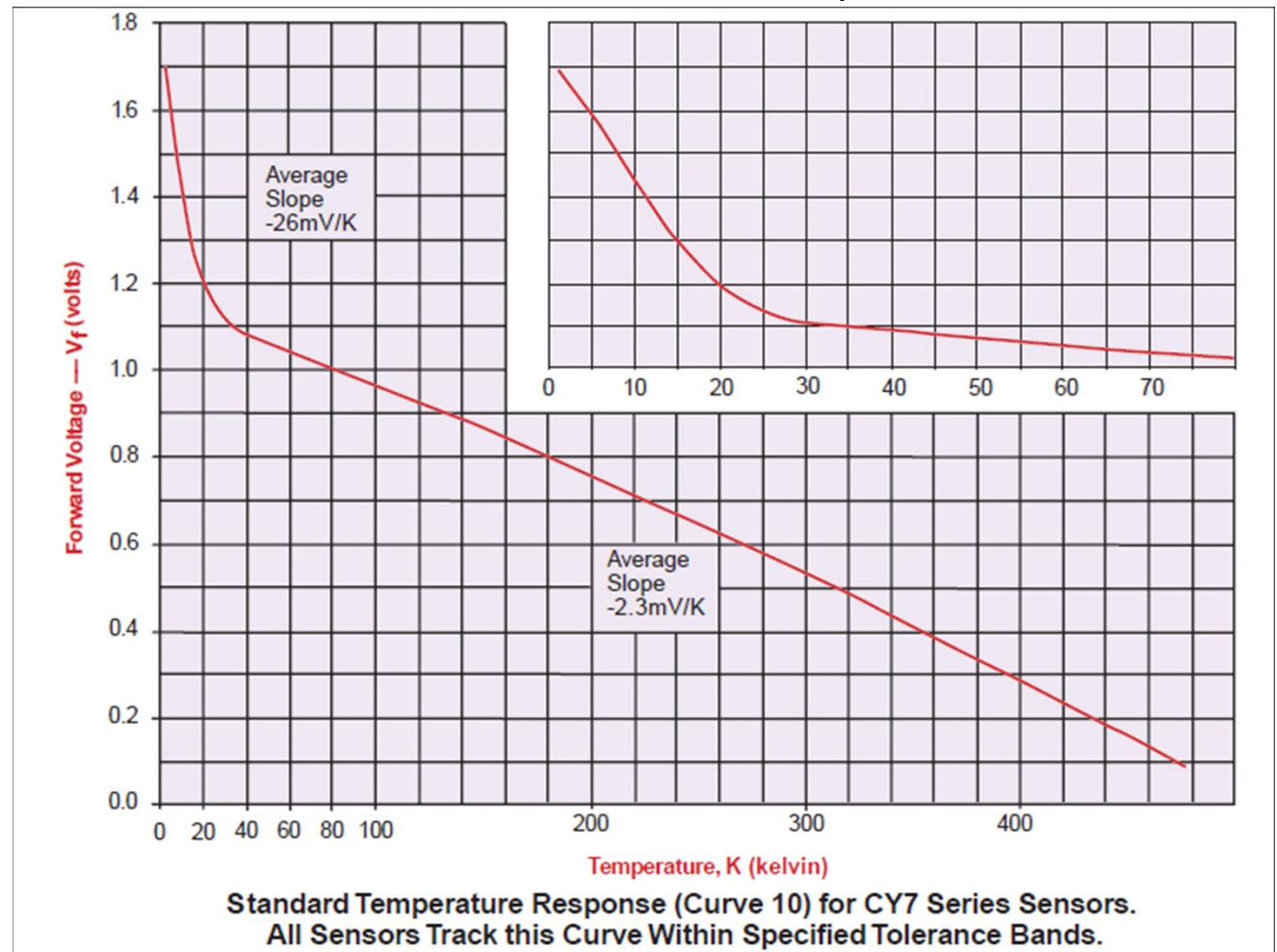
$$V = A - BT +$$

~~términos no lineales~~

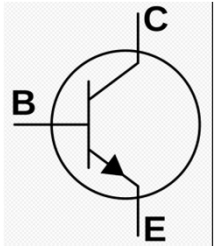
DIODO



En este caso la corriente, típicamente de microamperes debe ser muy estable.



Termómetros digitales



$$I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T} \quad V_T = \frac{kT}{q}$$

$$V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right)$$

El truco: utilizar dos transistores

$$\Delta V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln(N)$$

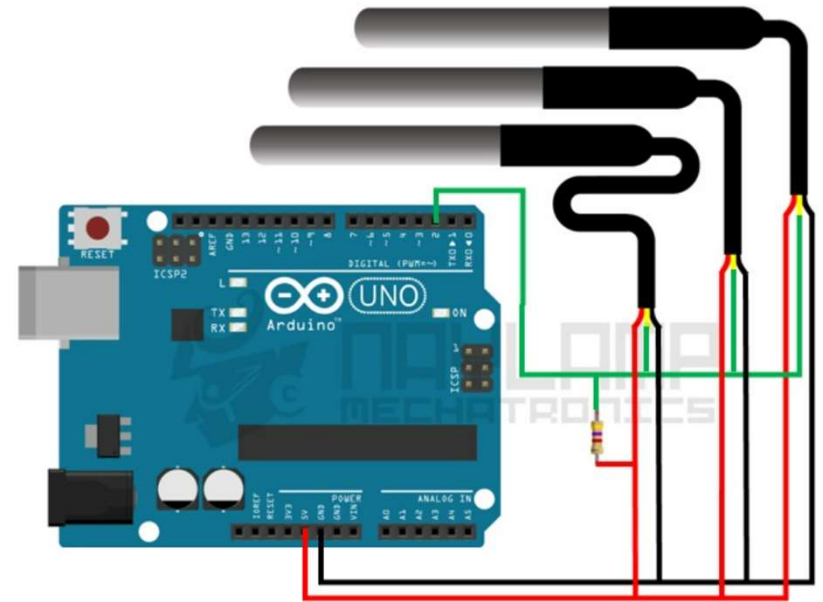
↓
Amplificación / acondicionamiento

↓
Conversión

↓
Valor digital

Transistores

son los componentes activos básicos en prácticamente toda la electrónica moderna



En el labo usamos DS18B20
Calibrado de fábrica
Transmite el resultado mediante 1-cable

Termómetros digitales se instrumentan de forma sencilla con arduinos.

En el laboratorio encontraremos del tipo:

- Expansión térmica de sólidos, líquidos o gases

Termómetros de mercurio de precisión para chequear temperaturas de cuerpos sumergidos en fluidos.

- Poder termoeléctrico: Termocuplas

Experimentos de - expansión térmica del Al

- Intercambio de calor en fluido de dos fases (Leidenfrost)
- Conductividad térmica del Cu.
- Calor latente del vaporización del N - Viscosidad

- Resistencia eléctrica de metales o semiconductores

En experimentos de - Curva Presión- Temperatura del Nitrógeno Líquido

- Termómetros electrónicos

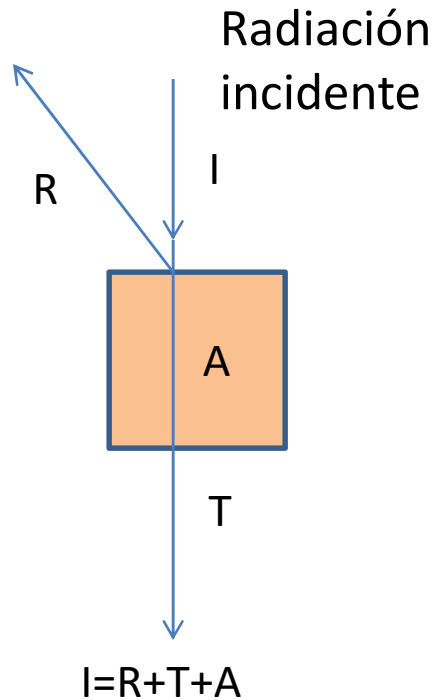
En experimentos de - Conductividad térmica del Cu - Celda Peltier.

- Equivalente eléctrico de la caloría. - Calor específico

El contacto térmico entre termómetro y medio de interés debe ser muy bueno para evitar lecturas erróneas

PIRÓMETROS

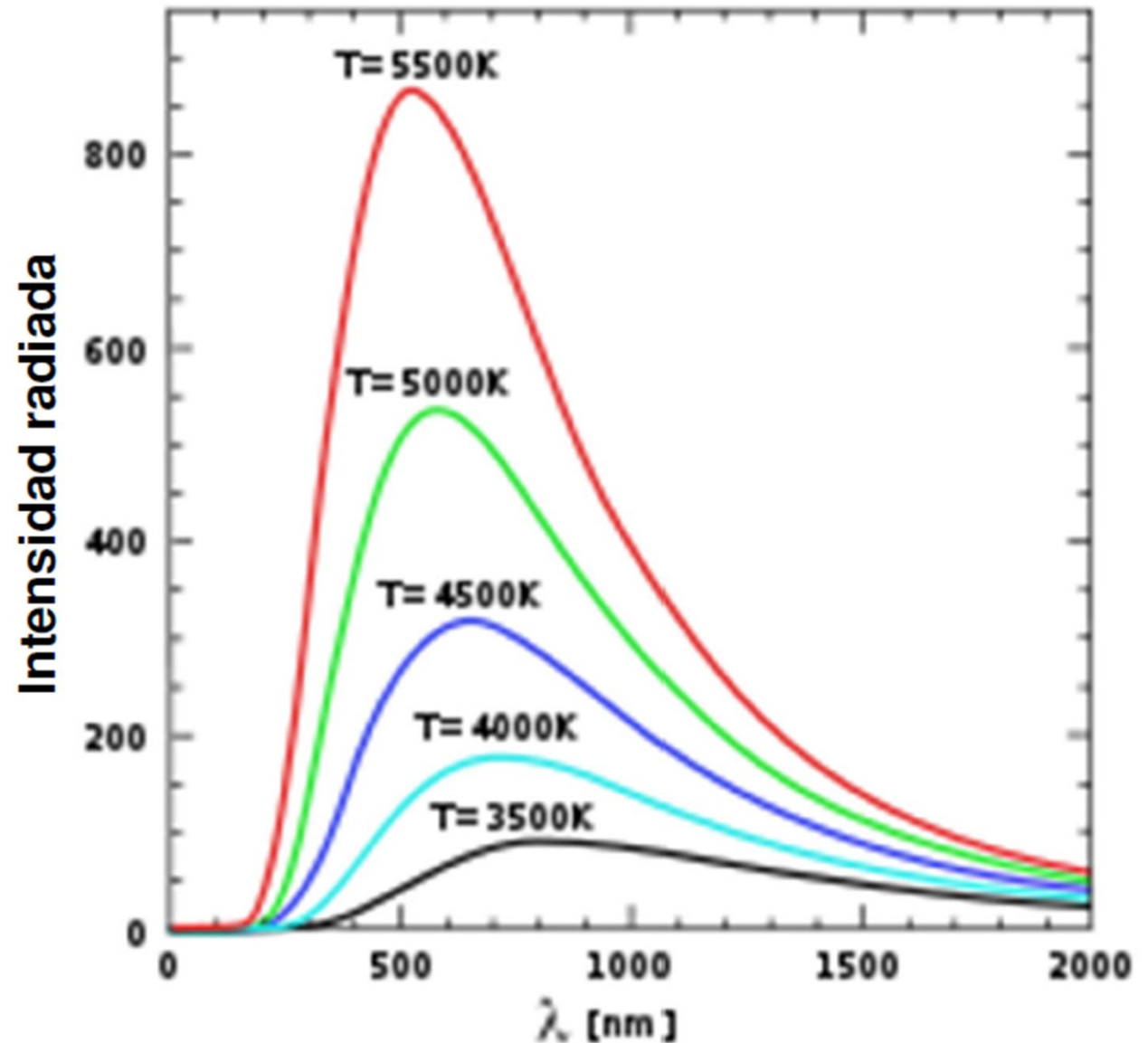
Se basan en la medición de la energía radiada por un cuerpo negro



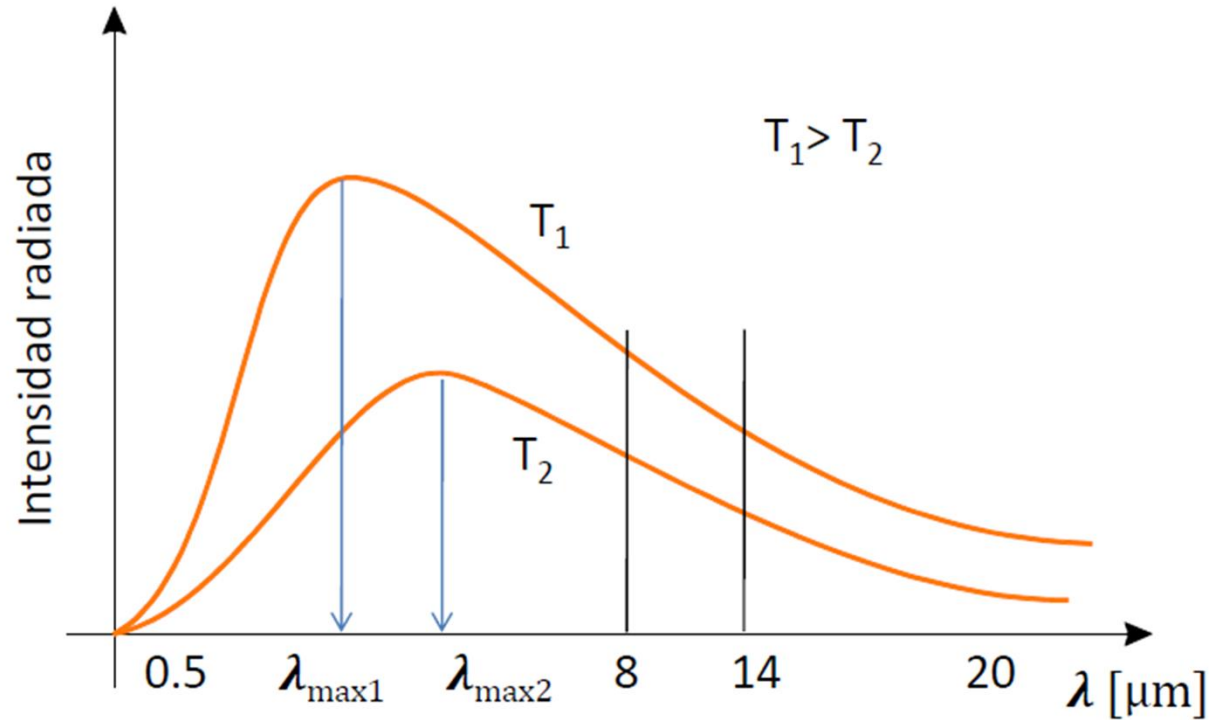
En un cuerpo negro

$R = T = 0$

En equilibrio $A = E$



PIRÓMETROS



$$\frac{\int_0^{\lambda_2} E_{\lambda,b} d\lambda - \int_0^{\lambda_1} E_{\lambda,b} d\lambda}{\sigma T^4}$$

Fracción de emisión de cuerpo negro en una banda espectral desde λ_1 a λ_2

$$E_{\lambda,b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 [\exp(hc/\lambda kT) - 1]} \text{ (W/m}^3\text{)}$$

Supuestos: emisividad de cuerpo gris
no hay absorción en el medio

Temperatura mas
baja obtenida
artificialmente
Ordenamiento de
momentos
nucleares

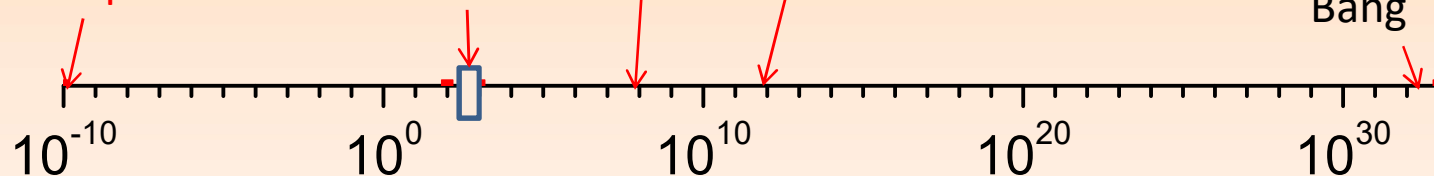
100pK

Vida cotidiana

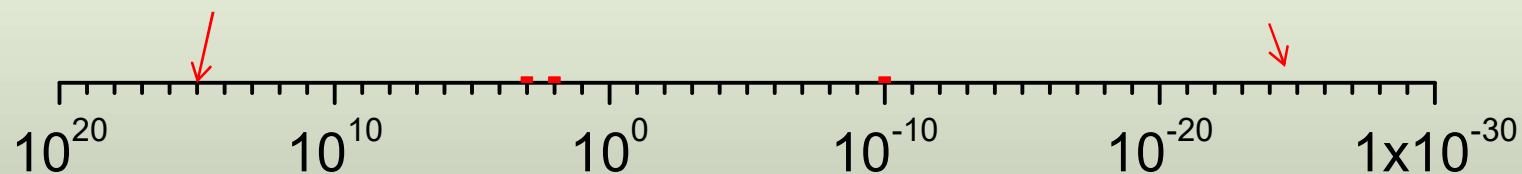
Plasma en
reactores de fusión
500 MK

LHC 2.5 TK

Teoría, 10^{-44} s
despues del Big
Bang



Temperatura (K)



Long de onda (nm)