

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

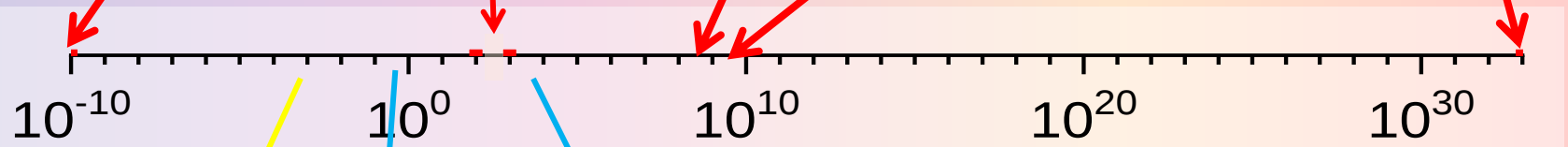
Temperatura mas
baja obtenida
artificialmente
Ordenamiento de
momentos
nucleares 100pK

Plasma en
reactores de
fusión 500 MK

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

Vida cotidiana

LHC 5.5 GK



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

PLTS-2000

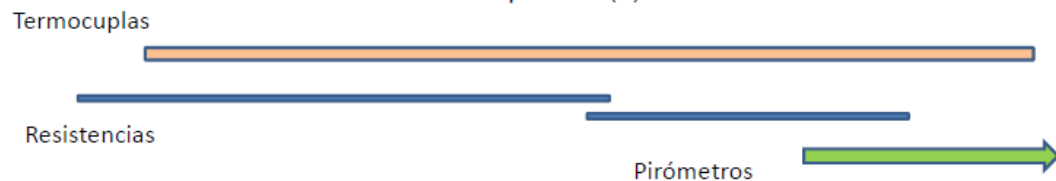
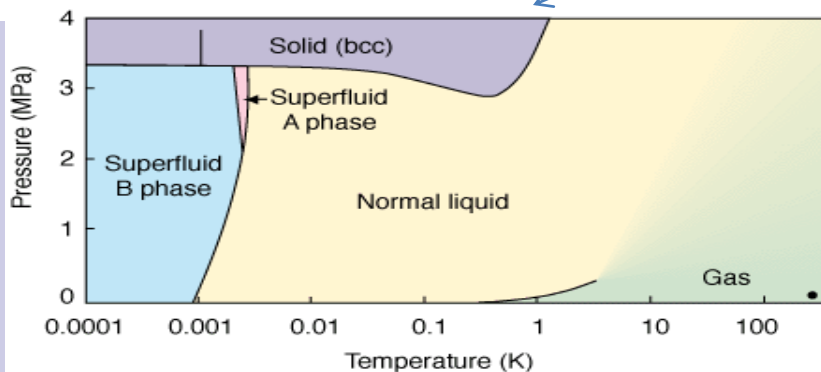
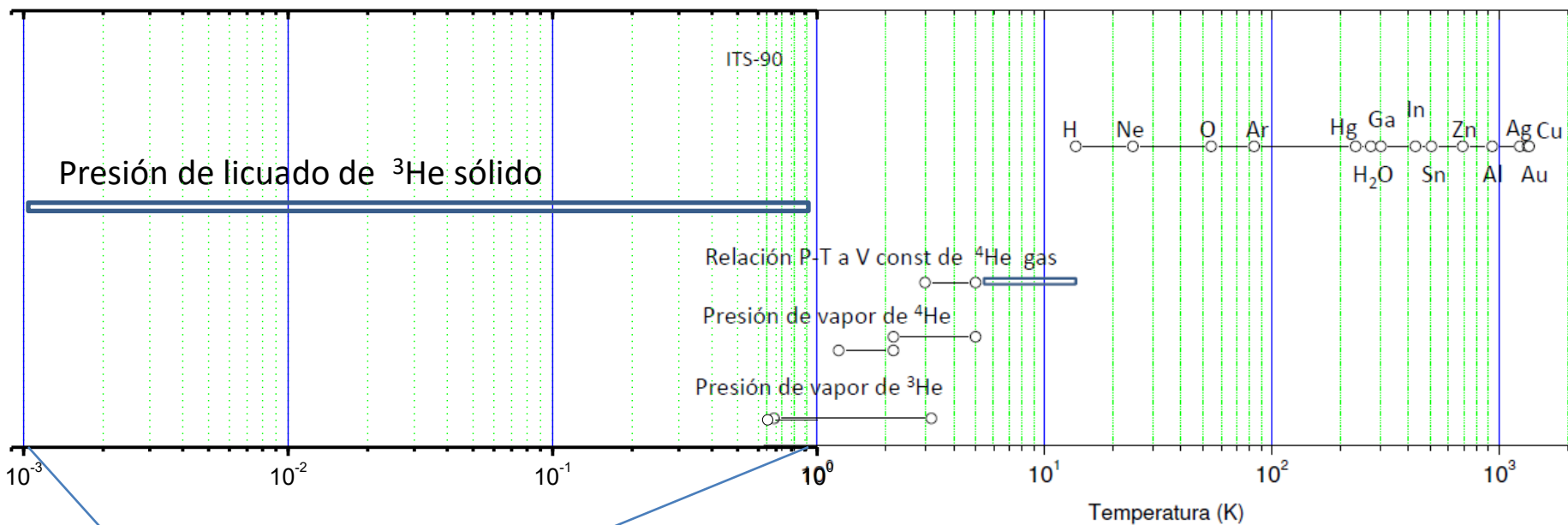
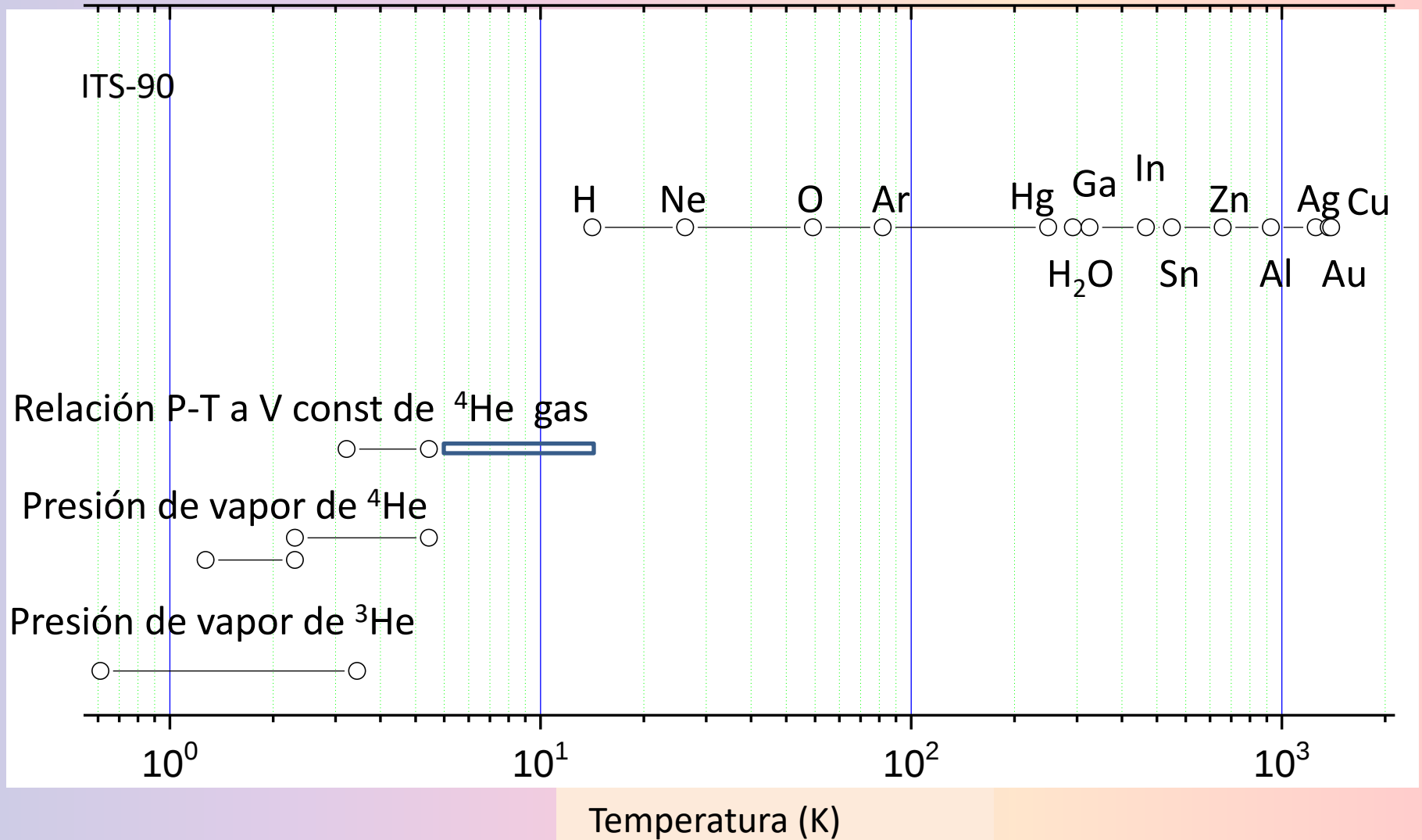


Diagrama de Fases He³



Rango de uso de

- Termocuplas

- Resistencias

- Pirómetros

Termómetros que se usan en el laboratorio

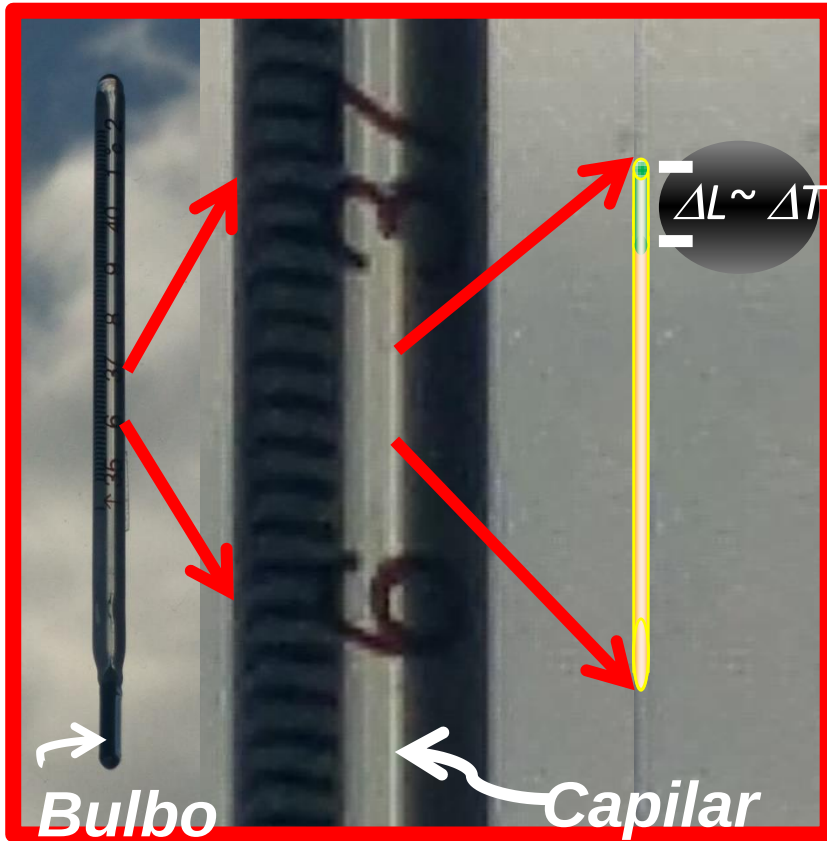
Inmersos
en el
medio de
interés

- 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

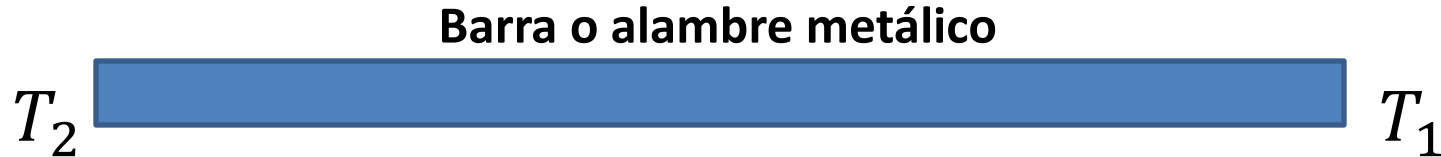
A_0 constante a lo largo del tubo

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	$1.8 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$

Efecto Seebeck

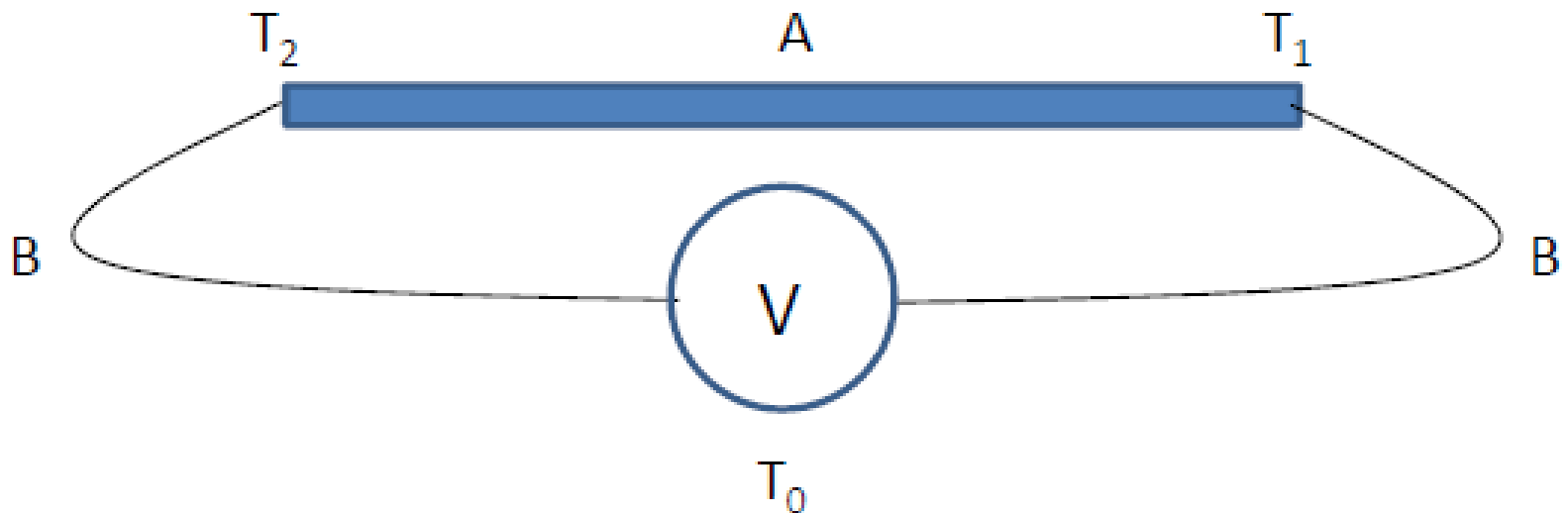


$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} + L_{ET} \vec{\nabla} T$$

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

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

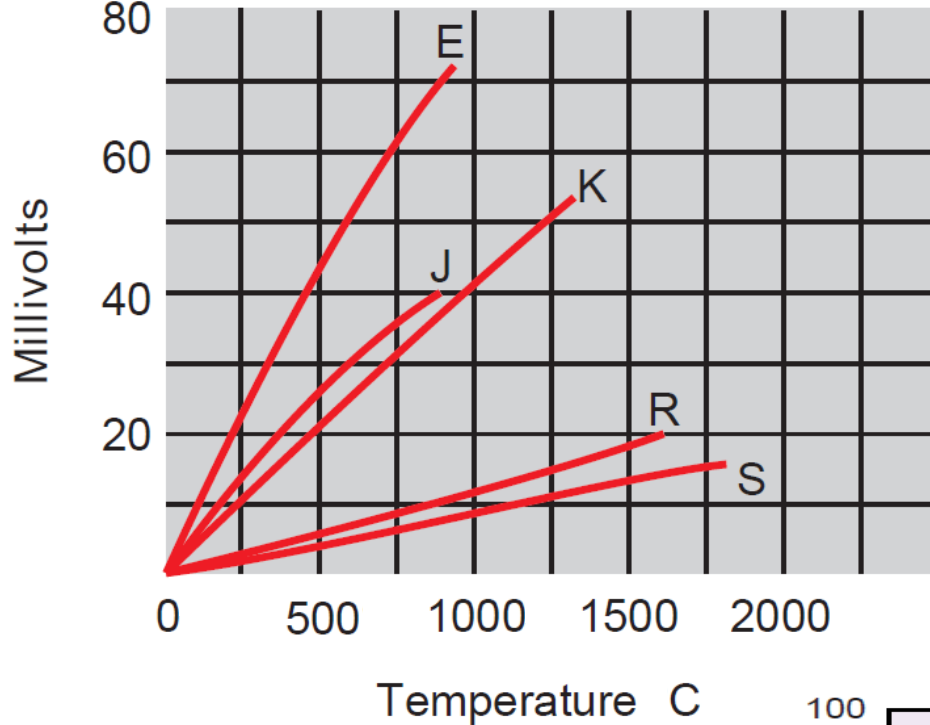
Termocuplas



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

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

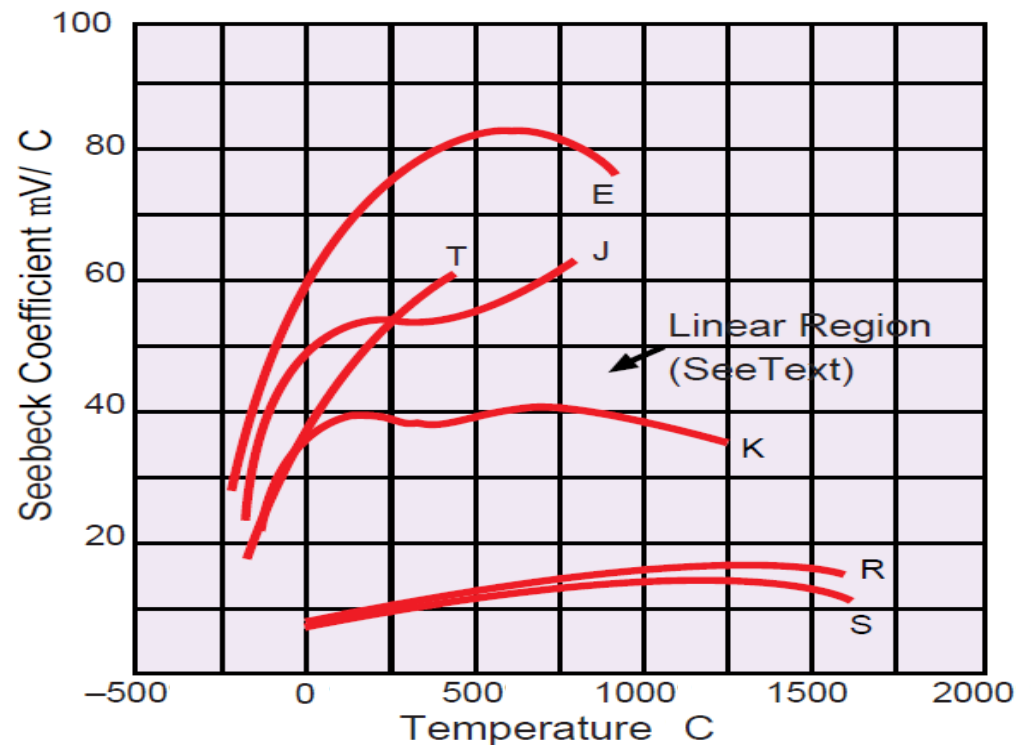
Supuesto $\Delta S \neq f(T)$



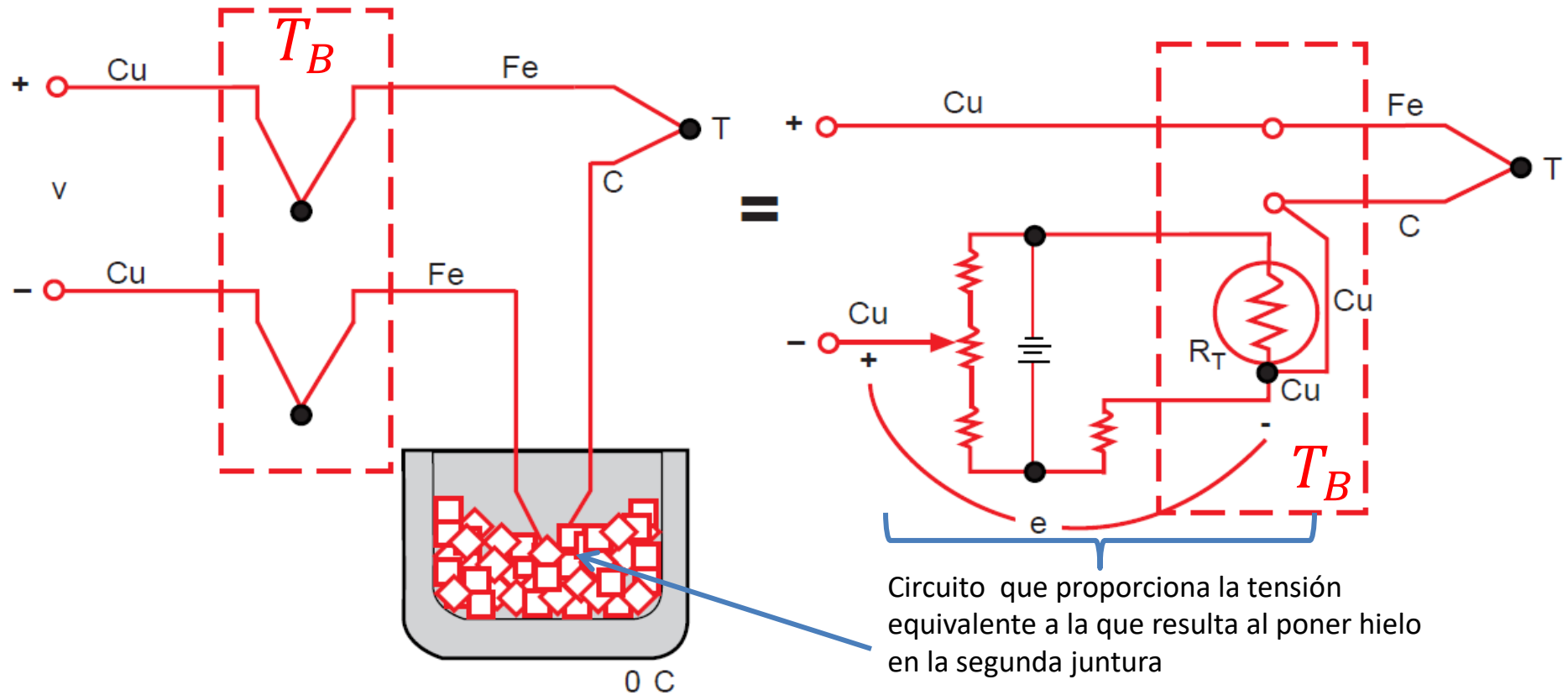
Type	Metals	
	+	-
E	Chromel vs. Constantan	
J	Iron vs. Constantan	
K	Chromel vs. Alumel	
R	Platinum vs. Platinum 13% Rhodium	
S	Platinum vs. Platinum 10% Rhodium	
T	Copper vs. Constantan	

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

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



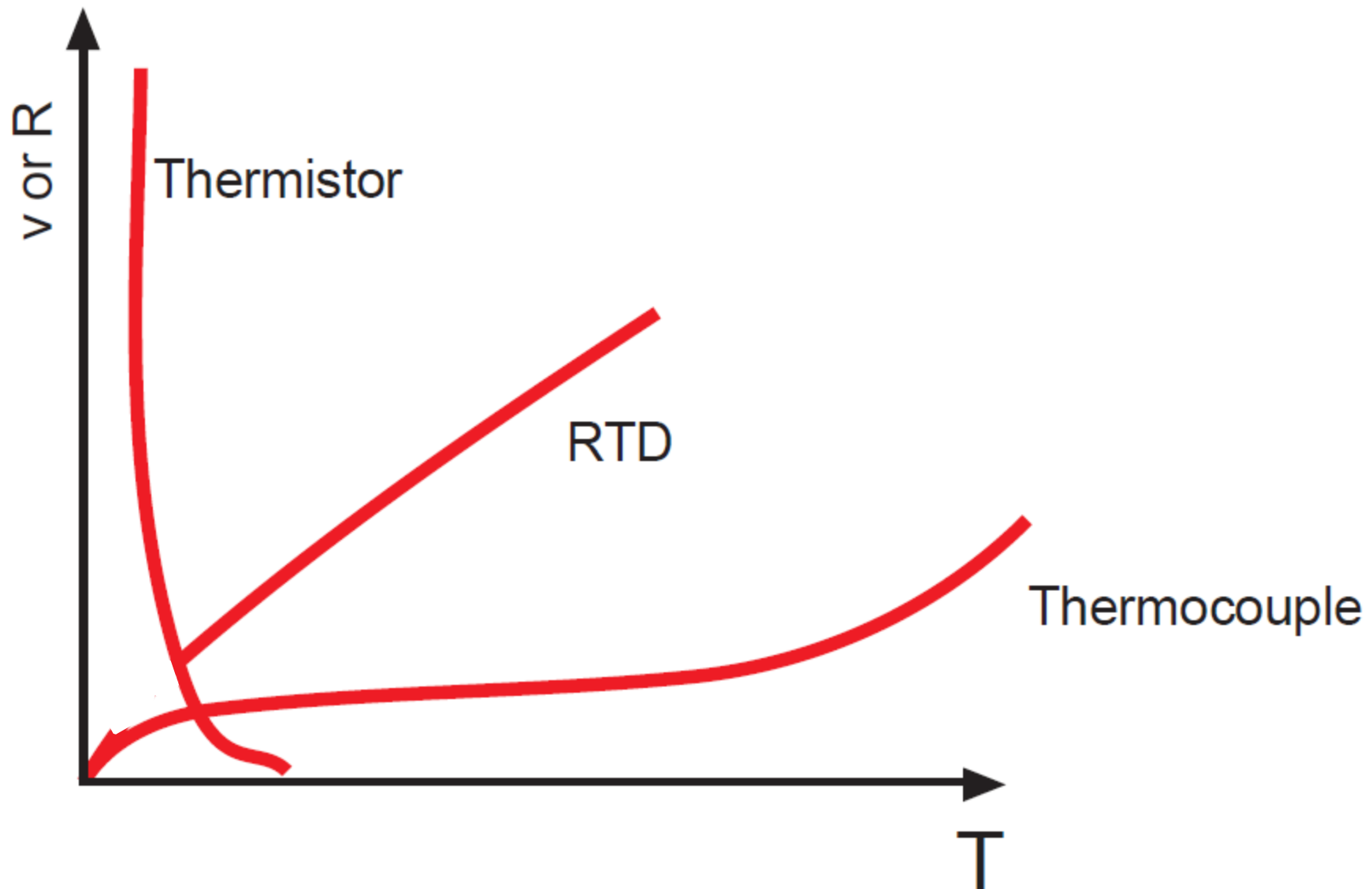
CERO ELECTRÓNICO



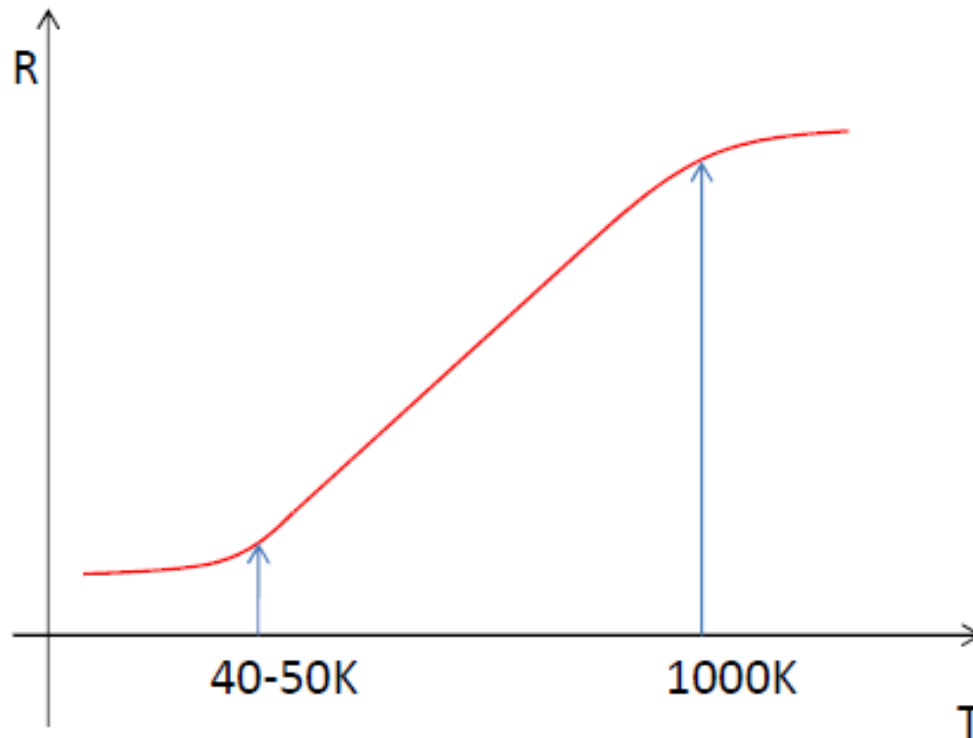
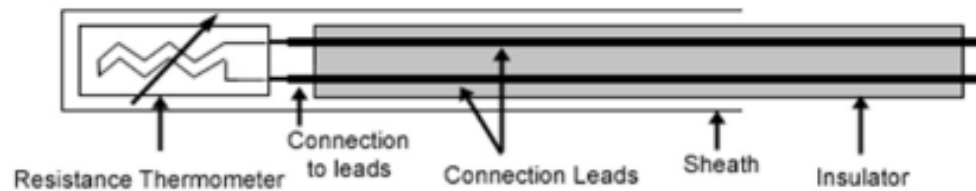
$$V = \int_{T_V}^{T_B} S_{Cu} \cdot dT + \int_{T_B}^T S_{Fe} \cdot dT + \int_T^0 S_C \cdot dT + \int_0^{T_B} S_{Fe} \cdot dT + \int_{T_B}^{T_V} S_{Cu} \cdot dT$$

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

- Resistencia eléctrica de metales o semiconductores



Resistencias de metales – (Pt100)

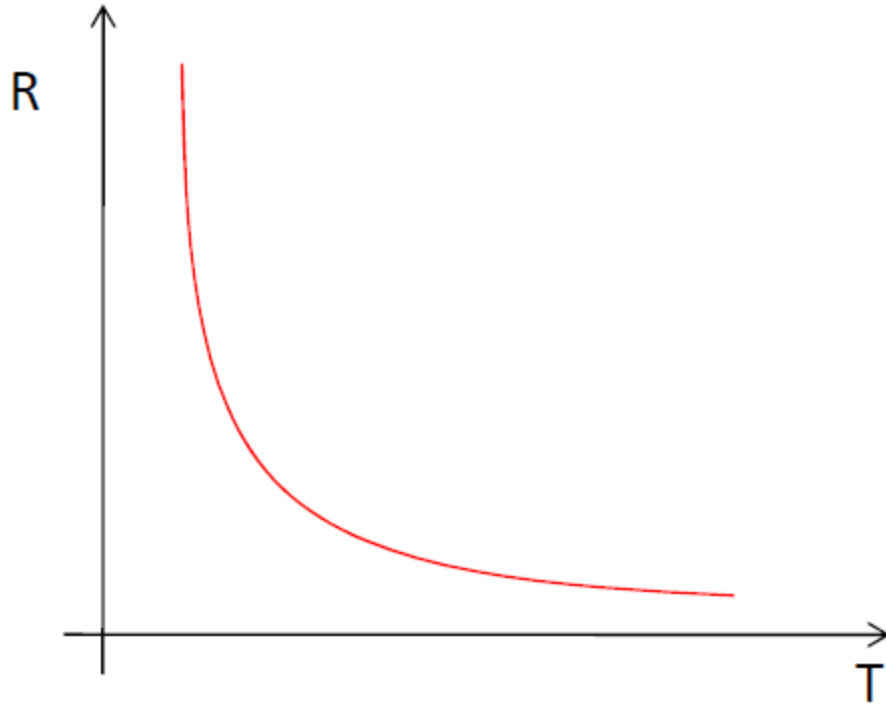


$$\rho = \rho_o (1 + \alpha \cdot T)$$

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

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

Termistores



Semiconductores

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

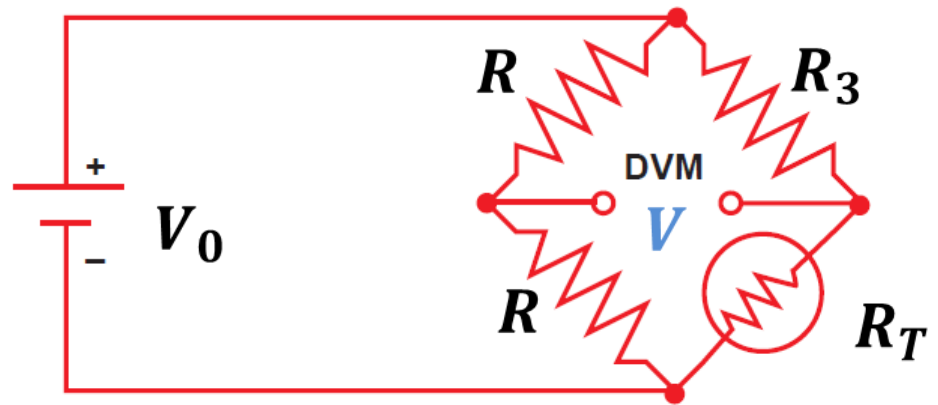
Ecuación de Steinhart-Hart

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

- Se usan principalmente a bajas temperaturas

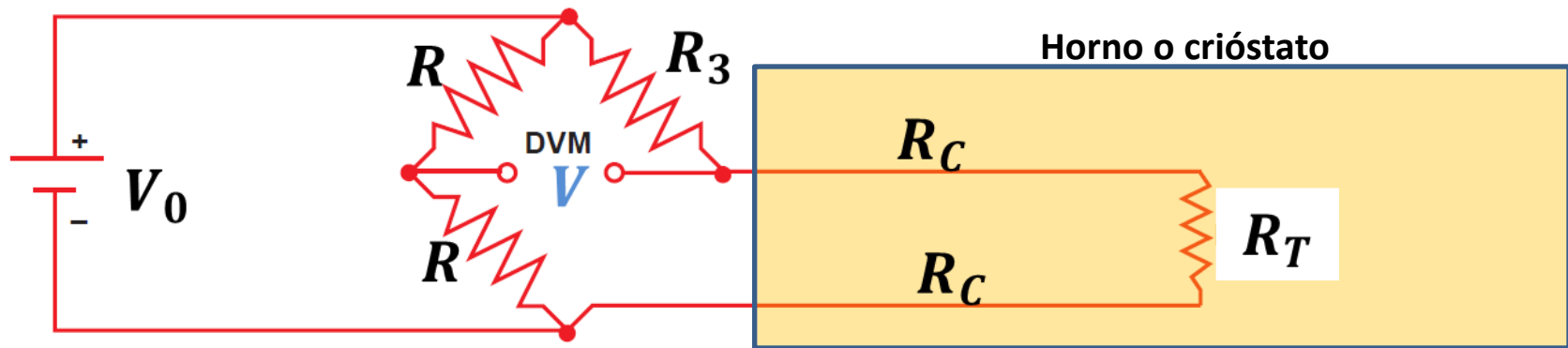
Se suele usar puentes de wheastone para medir resistencias a bajas temperaturas

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



WHEATSTONE BRIDGE

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

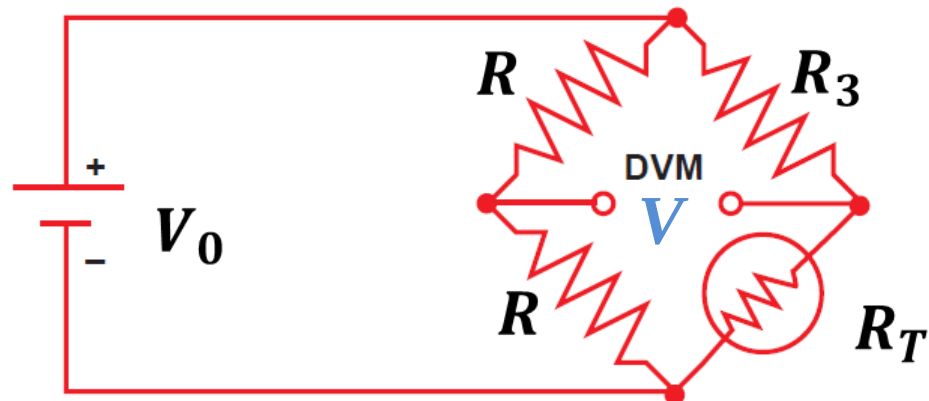


$$V = \frac{V_o}{2} \frac{(R_3 - 2R_C - R_T)}{(R_T + 2R_C + R_3)}$$

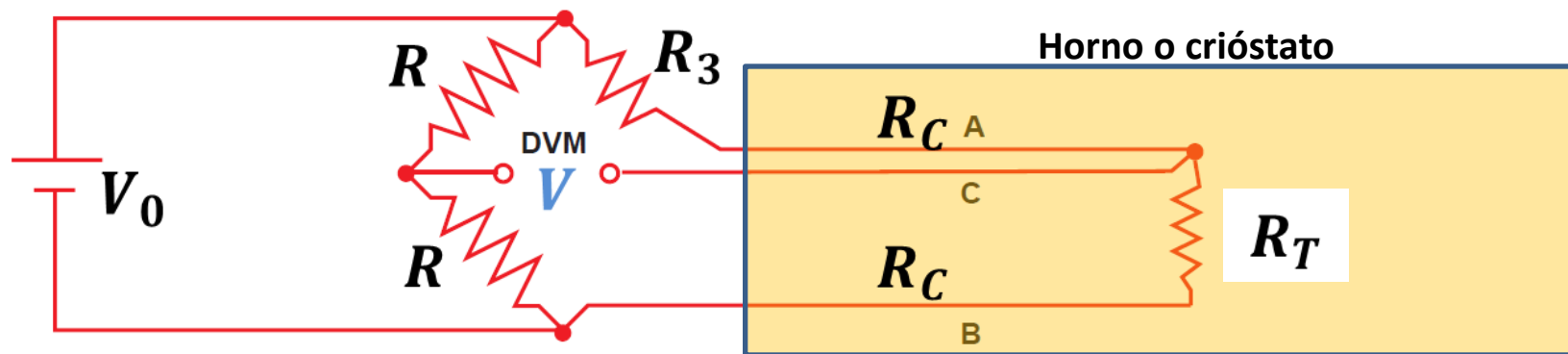
Se suele usar puentes de wheastone para medir resistencias a bajas temperaturas

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

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



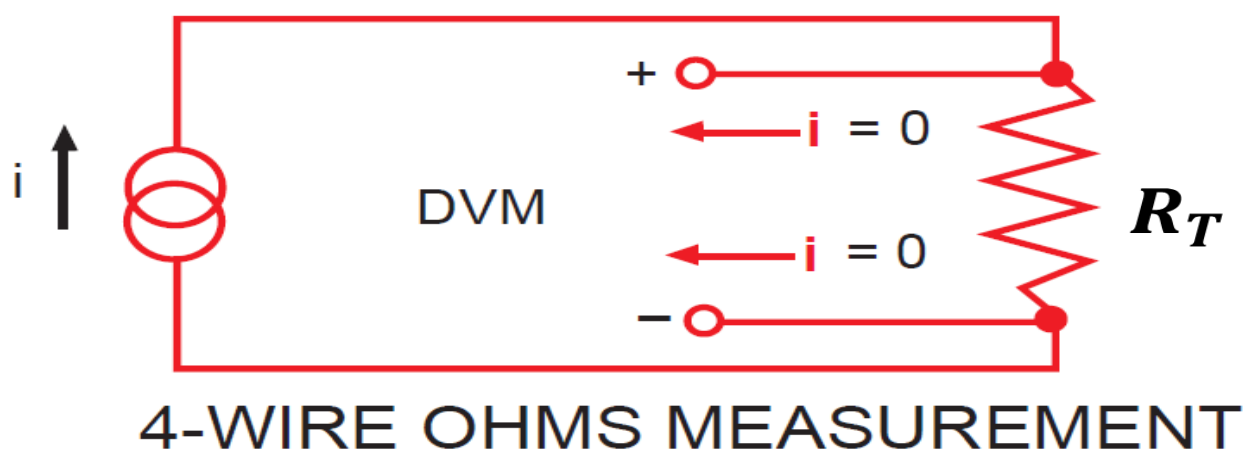
WHEATSTONE BRIDGE



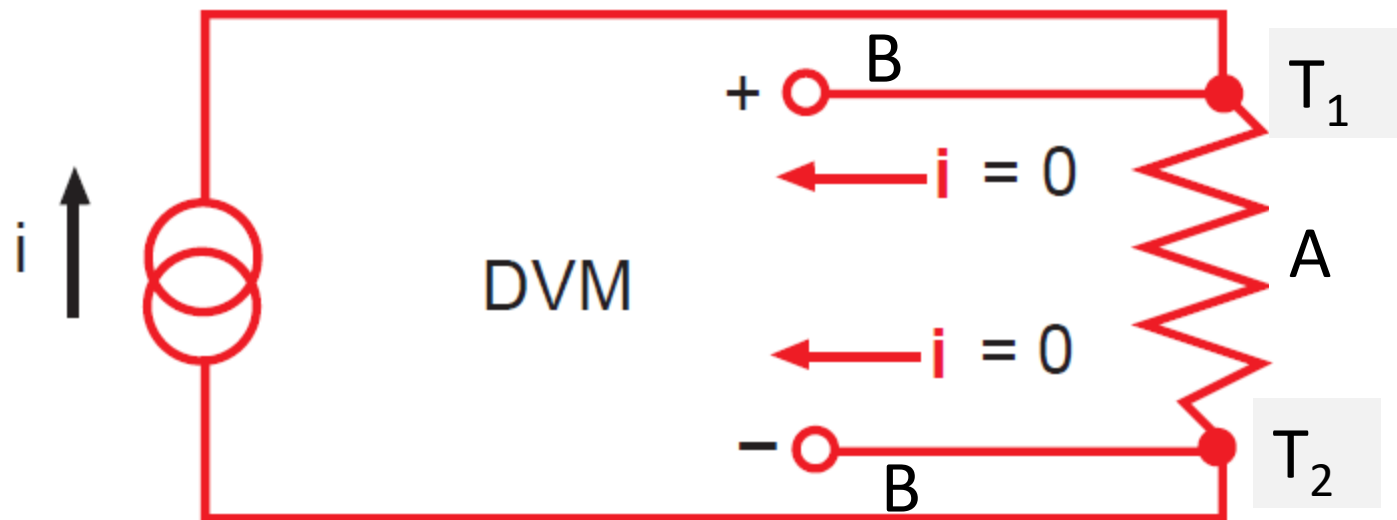
3-WIRE BRIDGE

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

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

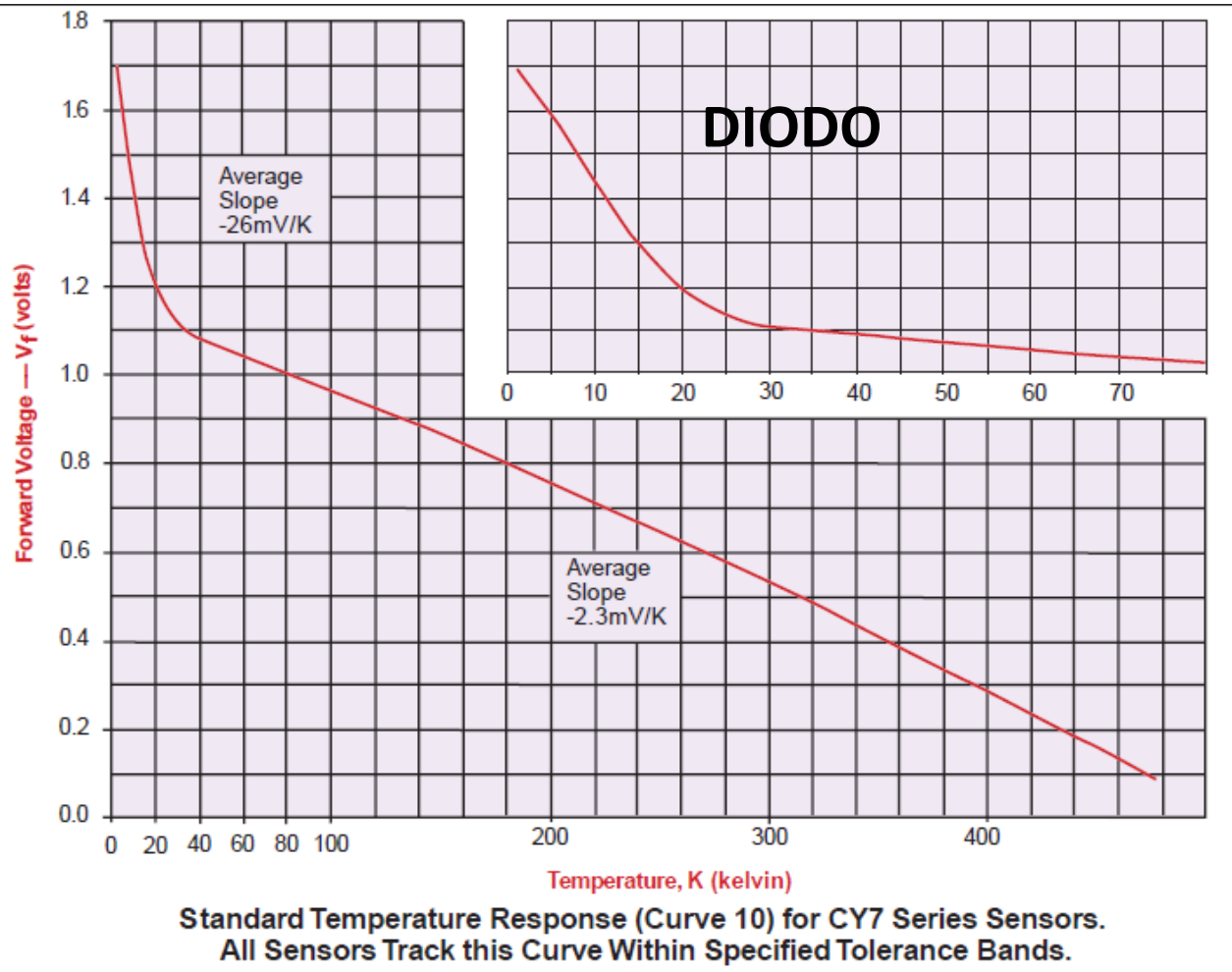


Voltaje de termocupla puede aparecer si hubiera una diferencia de T entre los extremos de R_T



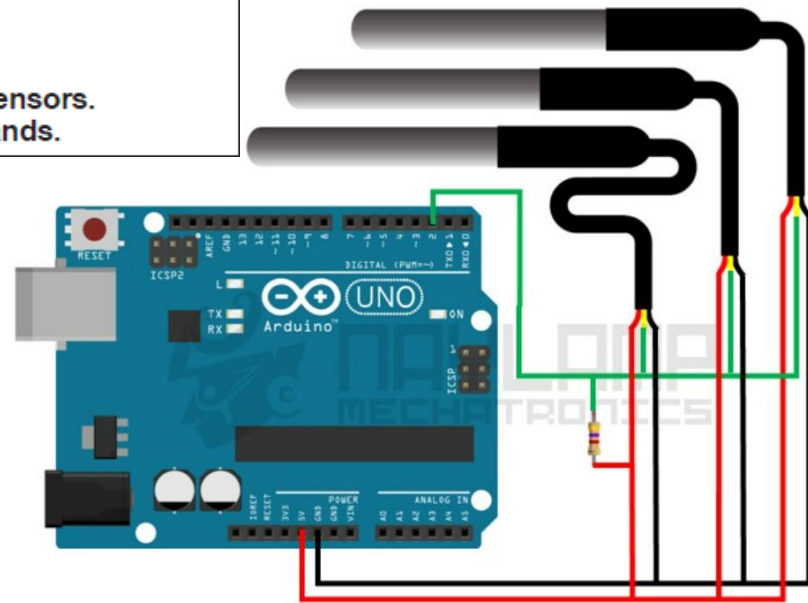
$$V = i R(T) + (S_A - S_B)(T_2 - T_1)$$

Ejercicio: Como eliminar este voltaje de termocupla?



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

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

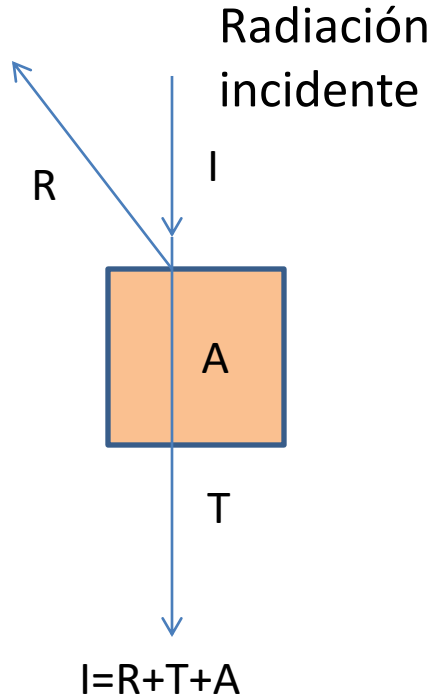
En experimentos de - Conductividad térmica del Cu - Celda Peltier.

- 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

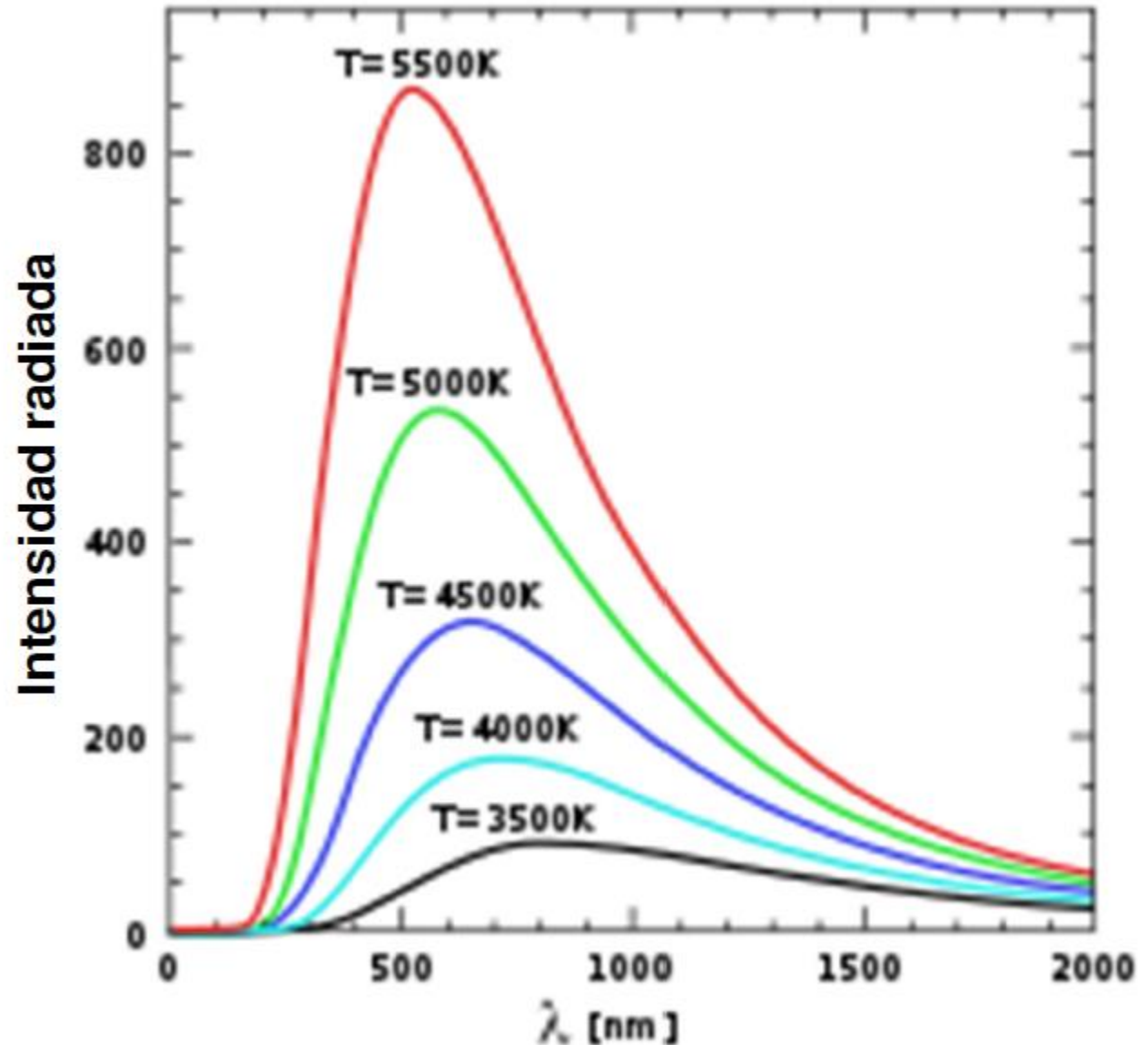
Se basan en la medición de la energía radiada por un cuerpo negro



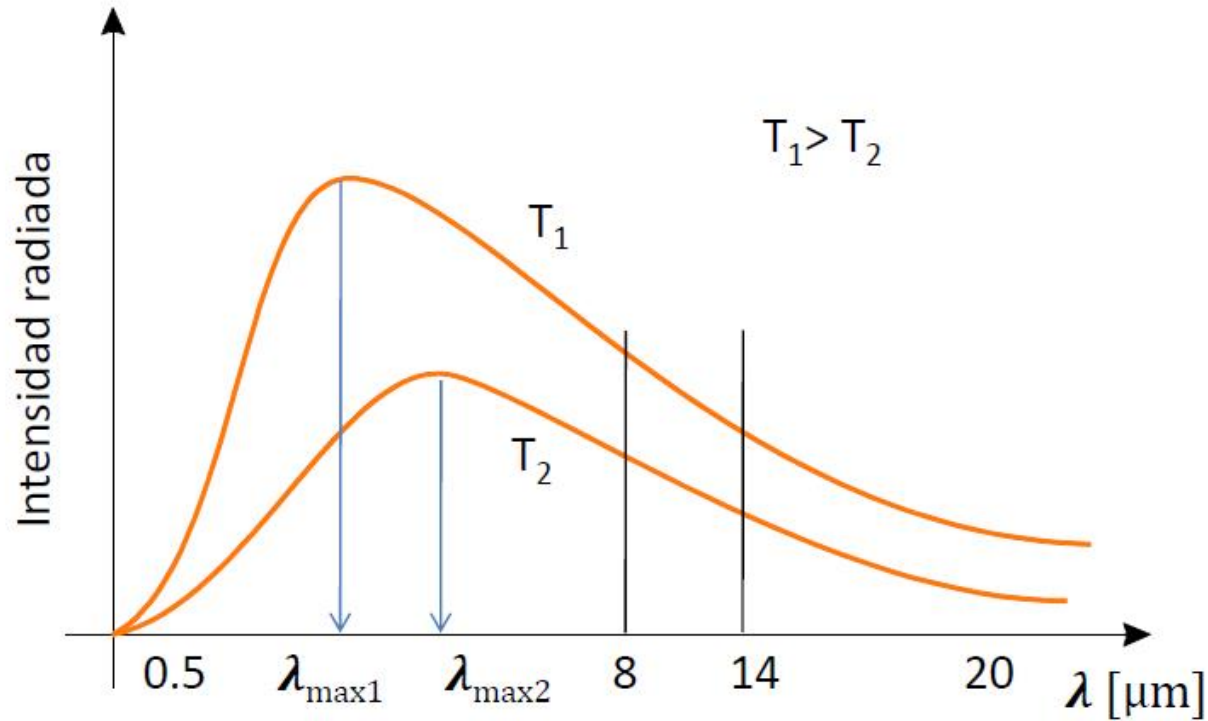
En un cuerpo negro

$R = T = 0$

En equilibrio $A = E$



PIRÓMETROS



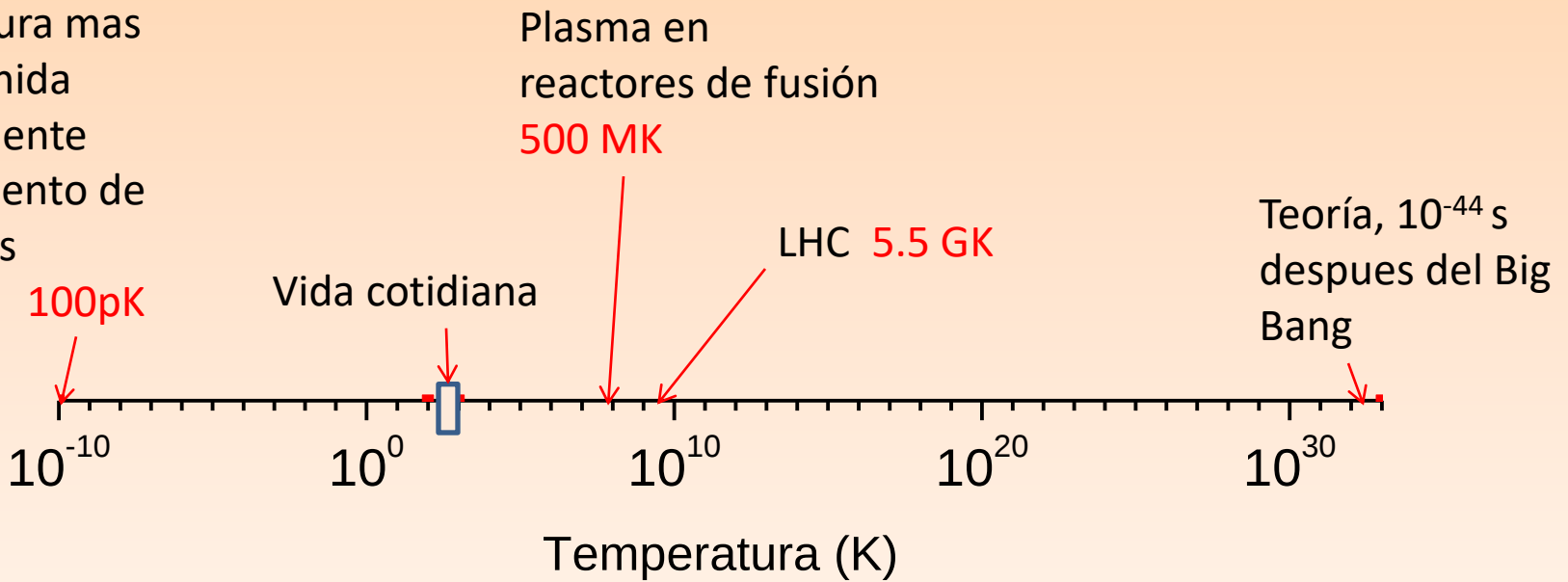
$$\frac{\int_0^{\lambda_2} E_{\lambda,b} d\lambda - \int_0^{\lambda_1} E_{\lambda,b} d\lambda}{\sigma T^4}$$

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



Material	Emissivity
Aluminum foil	0.03
Aluminum, anodized	0.9 ^[11]
Asphalt	0.88
Brick	0.90
Concrete, rough	0.91
Copper , polished	0.04
Copper, oxidized	0.87
Glass , smooth (uncoated)	0.95
Ice	0.97
Limestone	0.92
Marble (polished)	0.89 to 0.92
Paint (including white)	0.9
Paper, roofing or white	0.88 to 0.86
Plaster , rough	0.89
Silver , polished	0.02
Silver, oxidized	0.04
Snow	0.8 to 0.9
Water , pure	0.96

Absolute zero (precisely by definition)	0 K	∞ ^[3]
Coldest measured temperature ^[14]	450 pK	6,400 kilometers
One millikelvin (precisely by definition)	0.001 K	2.897 77 meters (Radio, FM band) ^[15]
Cosmic Microwave Background Radiation	2.725 48(57) K	1.063 mm (peak wavelength)
Water's triple point (precisely by definition)	273.16 K	10,608.3 nm (Long wavelength I.R.)
Incandescent lamp ^B	2500 K	1160 nm (Near infrared) ^C
Sun's visible surface ^{C[16]}	5778 K	501.5 nm (Green light)
Lightning bolt's channel	28,000 K	100 nm (Far Ultraviolet light)
Sun's core	16 MK	0.18 nm (X-rays)
Thermonuclear explosion (peak temperature) ^[17]	350 MK	8.3×10^{-3} nm (Gamma rays)
Sandia National Labs' Z machine ^{D[18]}	2 GK	1.4×10^{-3} nm (Gamma rays)
Core of a high-mass star on its last day ^[19]	3 GK	1×10^{-3} nm (Gamma rays)
Merging binary neutron star system ^[20]	350 GK	8×10^{-6} nm (Gamma rays)
Gamma-ray burst progenitors ^[21]	1 TK	3×10^{-6} nm (Gamma rays)
Relativistic Heavy Ion Collider ^[22]	1 TK	3×10^{-6} nm (Gamma rays)
CERN's proton vs. nucleus collisions ^[23]	10 TK	3×10^{-7} nm (Gamma rays)
Universe 5.391×10^{-44} s after the Big Bang	1.417×10^{32} K	1.616×10^{-26} nm (Planck frequency) ^[24]

SI multiples for kelvin (K)

Submultiples			Multiples		
Value	SI symbol	Name	Value	SI symbol	Name
10^{-1} K	dK	decikelvin	10^1 K	daK	decakelvin
10^{-2} K	cK	centikelvin	10^2 K	hK	hectokelvin
10^{-3} K	mK	millikelvin	10^3 K	kK	kilokelvin
10^{-6} K	μ K	microkelvin	10^6 K	MK	megakelvin
10^{-9} K	nK	nanokelvin	10^9 K	GK	gigakelvin
10^{-12} K	pK	picokelvin	10^{12} K	TK	terakelvin
10^{-15} K	fK	femtokelvin	10^{15} K	PK	petakelvin
10^{-18} K	aK	attokelvin	10^{18} K	EK	exakelvin
10^{-21} K	zK	zeptokelvin	10^{21} K	ZK	zettakelvin
10^{-24} K	yK	yoctokelvin	10^{24} K	YK	yottakelvin

Substance	T [K] (°C)	p [kPa]* (atm)
Argon	83.81 K (−189.34 °C)	68.9 kPa (0.680 atm)
Carbon (graphite)	4,765 K (4,492 °C)	10,132 kPa (100.00 atm)
Deuterium	18.63 K (−254.52 °C)	17.1 kPa (0.169 atm)
Hydrogen	13.84 K (−259.31 °C)	7.04 kPa (0.0695 atm)
Iodine ^[15]	386.65 K (113.50 °C)	12.07 kPa (0.1191 atm)
Krypton	115.76 K (−157.39 °C)	74.12 kPa (0.7315 atm)
Mercury	234.2 K (−39.0 °C)	1.65 × 10 ^{−7} kPa
Neon	24.57 K (−248.58 °C)	43.2 kPa (0.426 atm)
Nitrogen	63.18 K (−209.97 °C)	12.6 kPa (0.124 atm)
Oxygen	54.36 K (−218.79 °C)	0.152 kPa (0.00150 atm)
Palladium	1,825 K (1,552 °C)	3.5 × 10 ^{−3} kPa
Platinum	2,045 K (1,772 °C)	2.0 × 10 ^{−4} kPa
Radon	202 K (−71 °C)	70 kPa (0.69 atm)
Titanium	1,941 K (1,668 °C)	5.3 × 10 ^{−3} kPa
Uranium hexafluoride	337.17 K (64.02 °C)	151.7 kPa (1.497 atm)
Water ^{[4][5]}	273.16 K (0.01 °C)	0.611657 kPa (0.00603659 atm)
Xenon	161.3 K (−111.8 °C)	81.5 kPa (0.804 atm)
Zinc	692.65 K (419.50 °C)	0.065 kPa (0.00064 atm)