
SENSORS DE TEMPERATURA

La temperatura

Magnitud proporcional a l'energia cinètica de les molècules

Mesura de l'energia tèrmica d'un cos i el calor és la transferència d'energia entre dos cossos que es troben a diferent temperatura

- Escales absolutes: Graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) i Graus Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)
- Escales relatives: Kelvin (K) i Rankine (R)

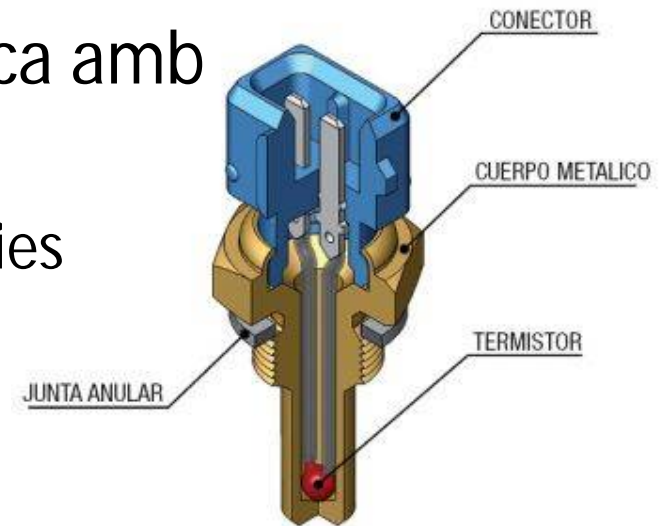
La temperatura

Conversió	Celsius (°C)	Kelvin (K)	Fahrenheit (°F)	Rankine (R)
Celsius (°C)		$^{\circ}\text{C} = \text{K} + 273.15$	$^{\circ}\text{C} = (\text{°F} - 32) / 1.8$	$^{\circ}\text{C} = (\text{R} - 491.67) / 1.8$
Kelvin (K)	$\text{K} = \text{°C} + 273.15$		$\text{K} = (\text{°F} + 459.67) / 1.8$	$\text{K} = \text{R} / 1.8$
Fahrenheit (°F)	$^{\circ}\text{F} = 1.8 * \text{°C} + 32$	$^{\circ}\text{F} = \text{K} * 1.8 - 459.67$		$^{\circ}\text{F} = \text{R} - 459.67$
Rankine (R)	$\text{R} = (\text{°C} + 273.15) * 1.8$	$\text{R} = \text{K} * 1.8$	$\text{R} = \text{°F} + 459.67$	

Tipus de sensors de temperatura

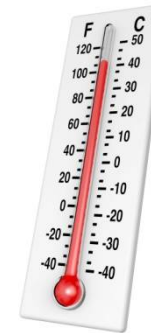
Classificació segons el principi físic

- Dilatació tèrmica
- Termoelèctrics: termopars
- Variació de la resistència elèctrica amb la temperatura
 - En un conductor: termorresistències
 - En un semiconductor: termistors
- Radiació tèrmica: piròmetres



Dilatació tèrmica

- Termòmetre de líquid de vidre
 - Característiques del líquid
 - Coeficient de dilatació lineal
 - Opacs
 - Químicament inerts i estables
 - No mullar les parets del capil·lar
 - Menisc ben definit
 - No ser tòxics

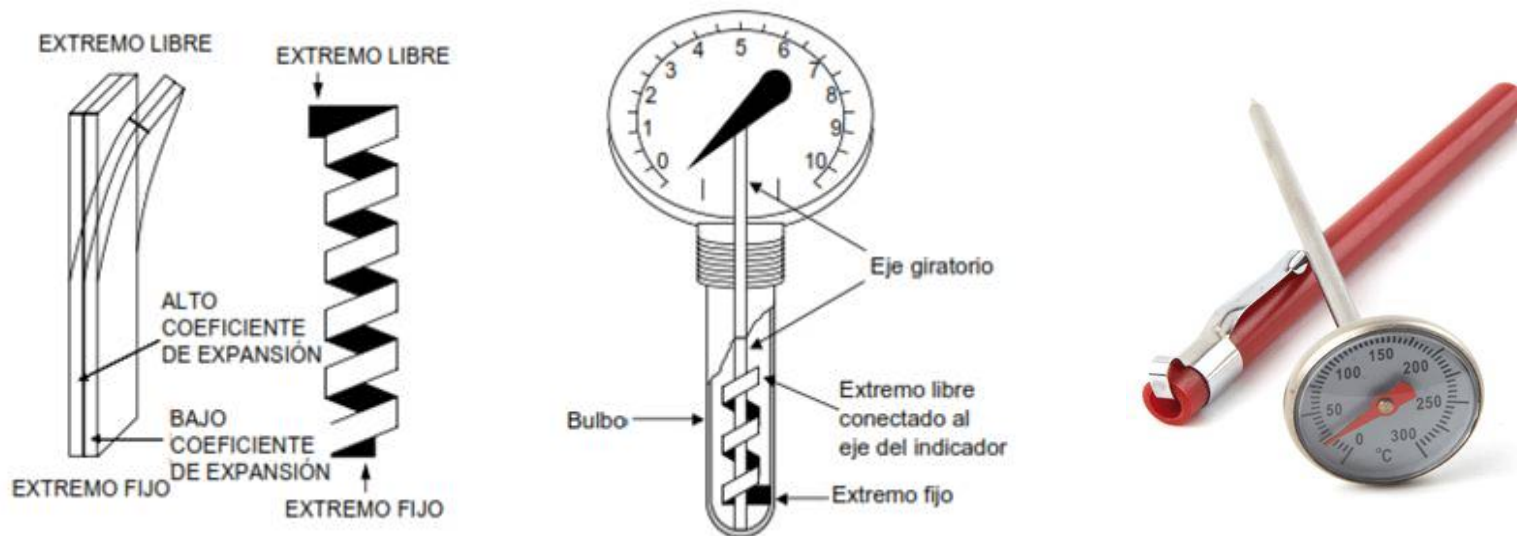


Líquid	Rang (°C)
Mercuri	-38 – 600
Etanol	-80 – 60
Toluè	-80 – 100
Pentà	-200 – 30

Dilatació tèrmica

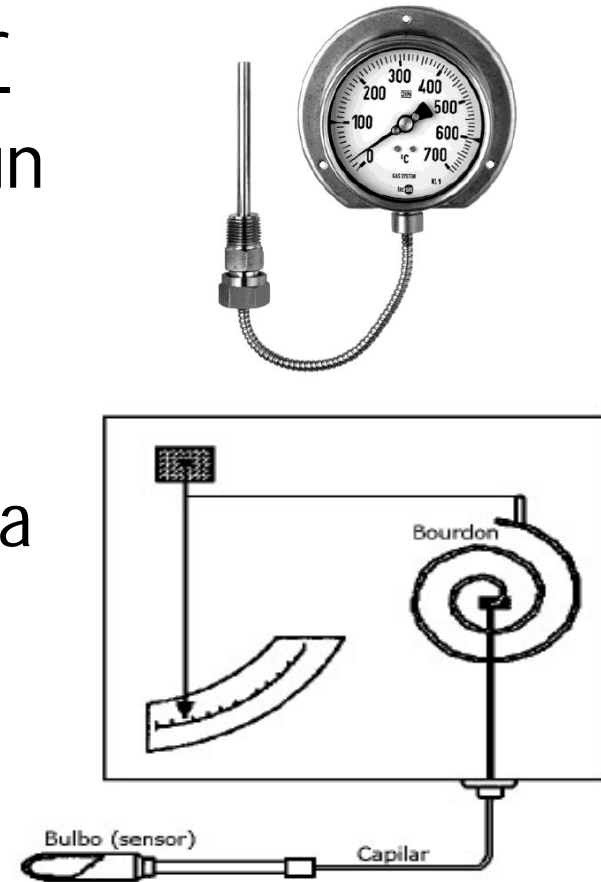
- Termòmetre bimetàl·lic

Es basa en la diferència dels coeficients de dilatació de dues làmines metàl·liques



Dilatació tèrmica

- Termòmetre de bulb i capil·lar
Format per un bulb connectat a un capil·lar en espiral. Quan la temperatura del bulb canvia, el gas o el líquid contingut en el bulb es dilata i l'espiral tendeix a desenrotllar-se movent l'agulla indicadora de la temperatura



Dilatació tèrmica

- Termòmetre de bulb i capil·lar

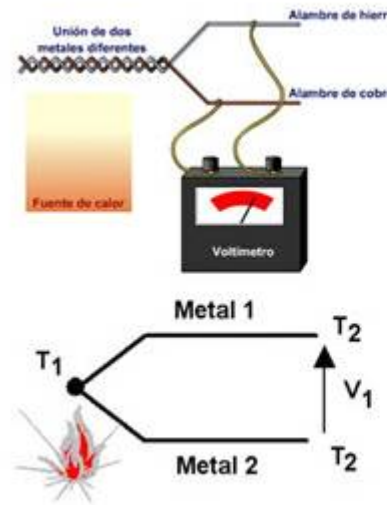
Característiques	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
Fluid	Líquid (alcohol, èter)	Líquid /vapor en equilibri	Gas inert (N ₂)	Mercuri
Senyal de sortida	Lineal	No lineal	Lineal	Lineal
Sensibilitat	Molt bona	Bona	Bona	Elevada
Bulb	Petit	> CI i CIV	Gran	> CI
Velocitat de resposta	Bona	< CI i CIV	Baixa	< CI
Rang (°C)	150 – 500	-70 – 300	-100 – 500	- 80 – 520

Termoelèctrics

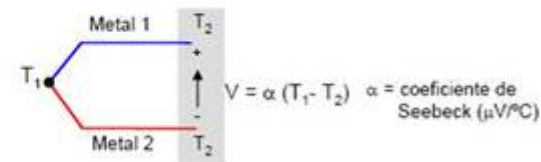
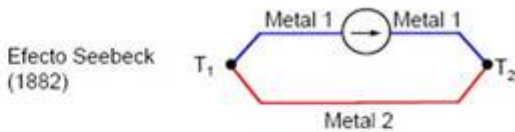
- Termopars (Thermocouples)

Efecte termoelèctric: la unió de dos metalls diferents genera un voltatge funció de la diferència de temperatura entre els extrems

- Unió freda o de referència
- Unió calenta o de mesura



Efecto Seebeck (1882)



$$T = \sum_{i=0}^n a_i V^i$$

Termoeleèctrics

- Termopars

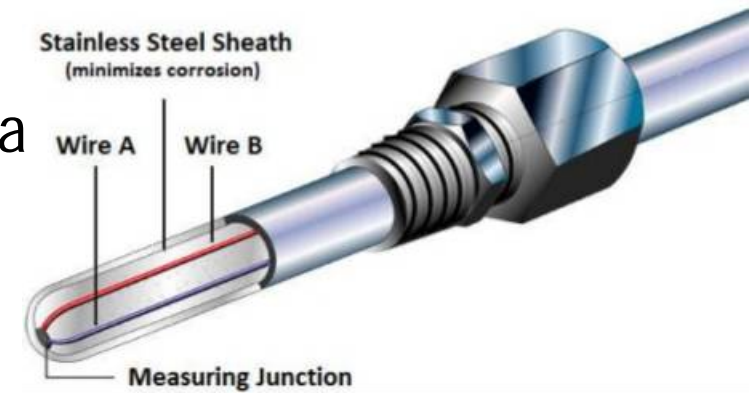
Tipus	Metalls i aliatges	Rang (°C)
E	Chromel/Constantan	-270 – 1000
J	Ferro/Constantan	-210 – 760
T	Coure/Constantan	-270 – 400
K	Chromel/Alumel	-270 – 1372
N	Nicrosil/Alumel	-270 – 1300
S	Platí-10% Rodi/Platí	-50 – 1768
R	Platí-13% Rodi/Platí	-50 – 1768
B	Platí-30% Rodi/Platí-6% Rodi	0 – 1820

<http://electroprofesor.blogspot.com.es/2013/11/termopares.html>

Termoelectrics

– Termopars

- La sensibilitat s'augmenta unint diversos termopars en sèrie: termopila
- Precisió pobra: ± 1 °C
- Consideracions de l'atmosfera química en les instal·lacions:
 - Introduir els fils metàl·lics en una beina
 - Beina: acer inoxidable, aliatges (Inconel, Incoloy, Hastelloy)
 - Temps de resposta es redueix 3-10 vegades



<http://www.hpalloy.com/Alloys/hightemperature.aspx>

http://www.parrinst.com/wp-content/uploads/downloads/2011/07/Parr_Inconel-Incoloy-Monel-Nickel-Corrosion-Info.pdf

Termoeleèctrics

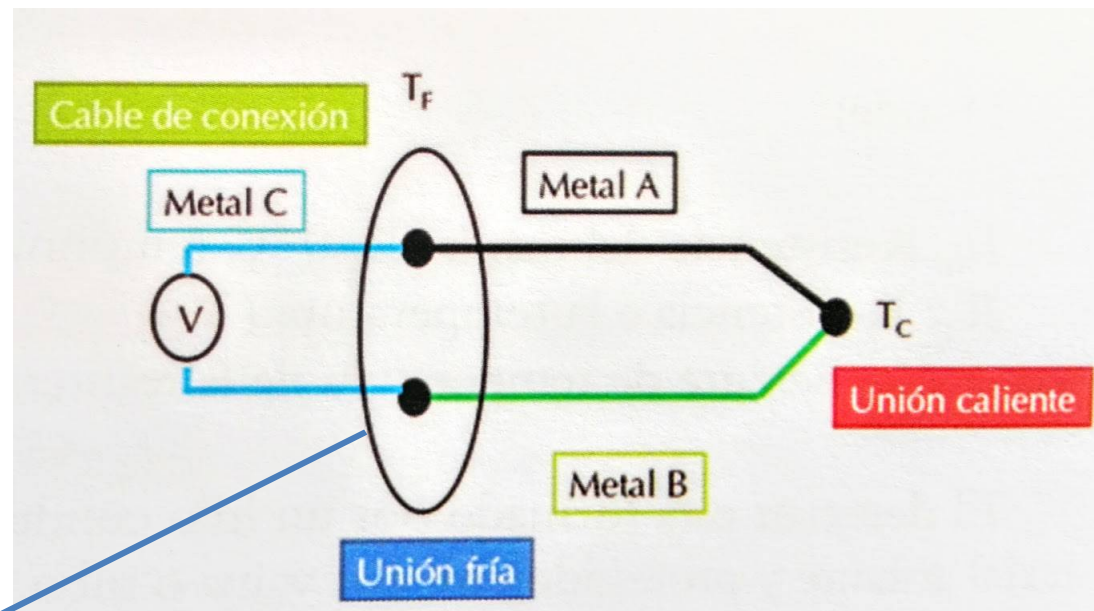
- Característiques dels termopars

Tipus	Resistència atm oxidant	Resistència atm reductora	Resistència a al sofre	Protecció	Altres
B, R, S	Molt bona	Pobra		Ceràmic	Major estabilitat amb el t que els termopars sense Pt. Cars i poca sensibilitat. Ideals a T altes
K	Molt bona	Pobra			Baix cost
J	Bona < 400 °C Pobra > 700 °C	Bona < 400 °C	Li afecta el sofre		No aptes per atm humida
T	Bona	Bona			
E	Bona	Pobra	Mala		Alta sensibilitat. Ideals a T baixes
N	Bona	Bona			Gran estabilitat a T altes

Termoelèctrics

- Construcció termopars:
 - Llei dels metalls intermedis

<http://dalf1987.blogspot.com.es/2009/02/ley-de-los-metales-intermedios.html>



Bloc isotèrmic
a T referència

Termoeleèctrics

- Construcció termopars:
 - Compensació electrònica de la unió freda^{**}:
deixar la T del bloc isotèrmic a la T ambient
 - Compensació per software: una termorresistència mesura la T del bloc que es tradueix a una tensió equivalent i se sumarà després al V mesurat pel voltímetre
 - Compensació per hardware: un circuit genera una tensió adequada per a cancel·lar la tensió produïda per la unió freda

Termoeleèctrics

- Construcció termopars:
 - Cables d'extensió, construïts amb el mateix aliatge que el termopar, proporcionant una gran precisió en la mesura
 - Cables de compensació, fabricats amb un altre aliatge. Més econòmics, però menys precisos

http://www.telecnor.com/catalogo/cablesdecompensacionyextension/info_cablesdecompensacionyextensiondetermoparfe-ko.php

<http://www.sciempresa.com/informaci%C3%B3n-t%C3%A9cnica/News/show/codigo-colores-cables-de-compensacion-nextension-182>

Termorresistència (RTD)

- Resistance Temperature Detector

Principi: la resistència d'un conductor varia amb la temperatura

$$R_T = R_0 * (1 + \alpha \Delta T)$$

- R_0 : resistència del material a la temperatura de referència (Ω).
- ΔT : desviació de la temperatura respecte al valor de referència
- R_T : resistència del material a la temperatura, T (Ω)
- α : coeficient de temperatura de la resistència ($1/^\circ\text{C}$)

Termorresistència (RTD)

- RTD



- Els conductors usats:

- Relació lineal entre la temperatura i la resistència en un ampli rang de mesura
- Rigidesa i ductibilitat
- Estable en les seves propietats
- Valors elevats de R_0 i α que donin garantia d'una alta sensibilitat

Termorresistència (RTD)

– Característiques de les termorresistències

Metall	Resistivitat ($\mu\Omega$)	Coefficient de temperatura	Rang de temperatura	Cost relatiu	Resistència de la sonda a 0°C	Precisió (°C)
Platí	9.83	0.00385	-200 a 950	Alt	100, 500, 1000	0.01
Níquel	6.38	0.0063- 0.0066	-150 a 300	Mig	100	0.5
Coure	1.56	0.00425	-200 a 120	Baix	10	0.1

Pt100: 100 Ω a 0°C

Termorresistència (RTD)

- Com anul·lar el problema dels cables de connexió??

- Amb dos cables: les resistències dels cables se sumen a la de platí

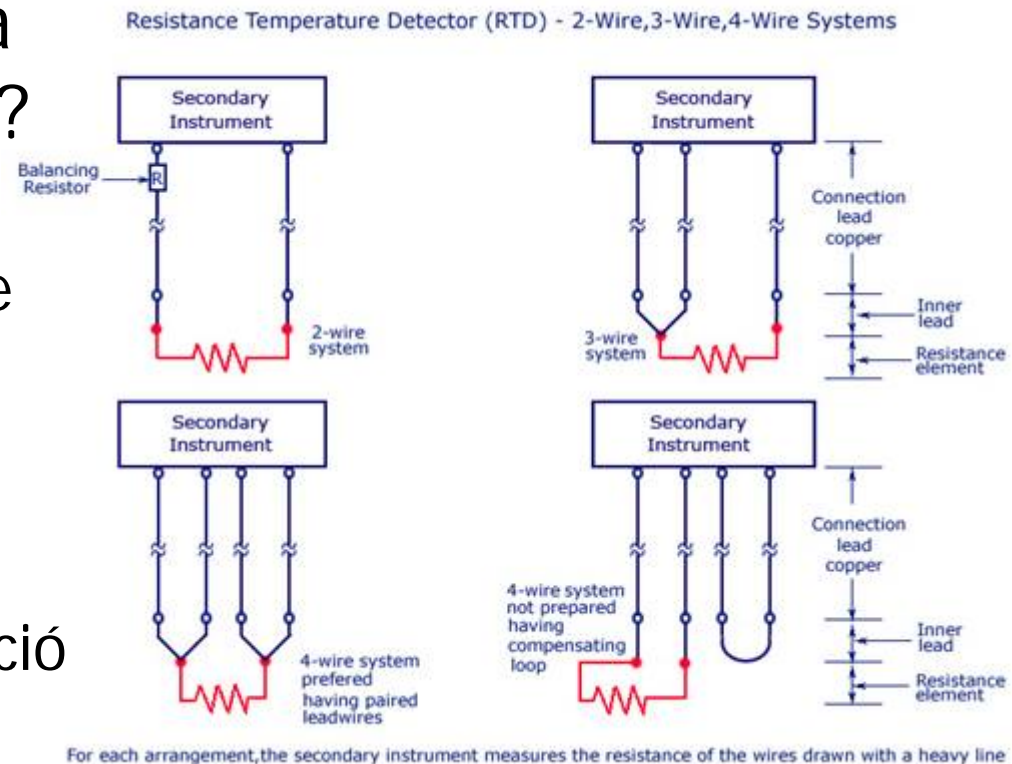
- Amb tres cables

- <http://www.thermometricscorp.com/3-wire-rtd.html>

- Amb quatre cables: solució més precisa i cara

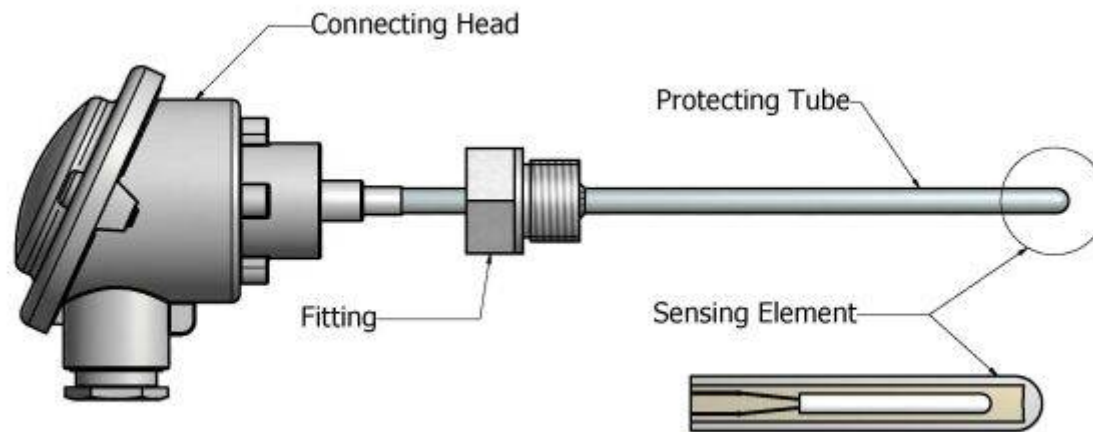
- <http://www.thermometricscorp.com/rtdsensors.htm>

- <http://www.everythingmaths.co.za/science/grade-12/10-electric-circuits/10-electric-circuits-06.cnxmplus>



Termorresistència (RTD)

- Què és el corrent d'excitació en una termorresistència???



Termistors

- Es basa en la variació de la resistència d'un semiconductor amb la temperatura

$$R_T = R_0 e^{\alpha \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

R: Resistència elèctrica (Ω)

R_0 : Resistència a la temperatura de referència, T_0

T: temperatura ($^{\circ}\text{C}$ o K)

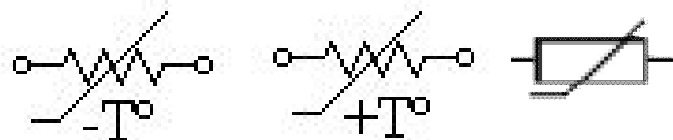
T_0 : Temperatura de referència ($^{\circ}\text{C}$ o K)

α : Coeficient variable en funció de la temperatura

Què és un semiconductor???

Termistors

- Tipus de termistores
 - PTC, positive temperature coefficient:
 - La resistència augmenta en augmentar la temperatura
 - A temperatures altes es poden comportar com una NTC
 - **NTC, negative temperature coefficient:**
 - La resistència disminueix en augmentar la temperatura
 - El coeficient de temperatura és negatiu



Termistors

- Avantatges de termistores
 - Gran sensibilitat, degut als valors tant elevats de les resistències, $k\Omega$
 - Mida reduïda
 - Costos baixos

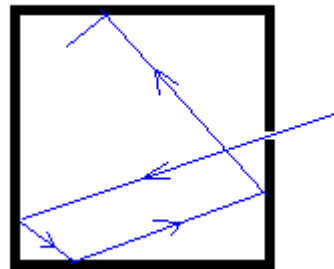
Aplicacions: sistemes de refrigeració
domèstics: neveres, congeladors...

Radiació tèrmica

- Tots els cossos a una temperatura per sobre del zero absolut emeten radiació electromagnètica
- La intensitat augmenta amb la temperatura
- Els piròmetres de radiació mesuren a distància, capten la radiació i la dirigeixen al detector, es genera un senyal proporcional a la temperatura del cos

Radiació tèrmica

- L'energia radiada per la superfície d'un cos depèn de la temperatura i de la natura de la superfície del cos
- Cos negre = radiador ideal
 - Absorbeix tota la radiació i no en reflexa cap



Radiació tèrmica

- Cos negre

$$E_{\text{missivitat}} = \frac{\text{Radiació de la superfície d'un cos}}{\text{Radiació de la superfície d'un cos negre}}$$

a la mateixa T

- Emissivitat d'un cos negre = 1
- En els materials reals:

Energia radiada < Energia emesa pel cos negre
part és reflectida

Piròmetres

- El calibratge del sensor depèn de cada material que es mesura
- Importa més la precisió que l'exactitud
- Aplicació en casos extrems
- Les mesures sense contacte es veuen afectades per: vapor, partícules en suspensió o humitat

Materials	Emissivitat
Asfalt	0.98
Ceràmica	0.95
Ferro	0.97
Pintura negra	0.97
Vidre	0.94

Piròmetres

- Piròmetres de radiació total

- Mesuren la T captant gran part de la radiació emesa pel cos
- Piròmetres de banda ampla o infrarroig.
- Llei de Stefan-Boltzmann:

$$W = \sigma T^4$$

La intensitat de l'energia emesa augmenta proporcionalment a la quarta potència de la temperatura absoluta de la superfície del cos

http://www.sapiensman.com/tecnoficio/optica/termometros_IR.php

Piròmetres

- Piròmetres de radiació total
 - La resolució ve determinada per la relació entre la distància del piròmetre a l'objecte i el diàmetre de la zona de mesura. A major relació, major resolució
 - Rang: 0 – 3000 °C

Piròmetres

- Piròmetres òptics
 - Mesuren la T en funció de la radiació lluminosa
 - Piròmetres de banda estreta.
 - Manuals: comparació del color de l'objecte amb el d'un fil incandescent
 - Automàtics: sensor electrònic compara
 - Aplicacions per a cossos que superin els 700 °C

Criteris de selecció d'un sensor de T

	Avantatges	Desavantatges
Dilatació	Rang: -80 – 1000 °C Econòmic	Mesura local no apta per a un sistema de control automàtic
Termopar	Rang: -270 – 1800 °C Robust i econòmic	Baixa intensitat de sortida Compensació per unió freda Baixa sensibilitat i estabilitat
RTD	Rang: -260 – 850 °C Molt estable Millor intensitat de senyal i millor linealitat que el termopar	Car Fràgil i sensible a les vibracions Millora la precisió amb 3 o 4 fils
Termistors	Màxima sensibilitat Baix preu i mida reduïda	No lineal Rang reduït
Piròmetres	Per sobre dels 700 °C Sense contacte	Linealitat pobra

