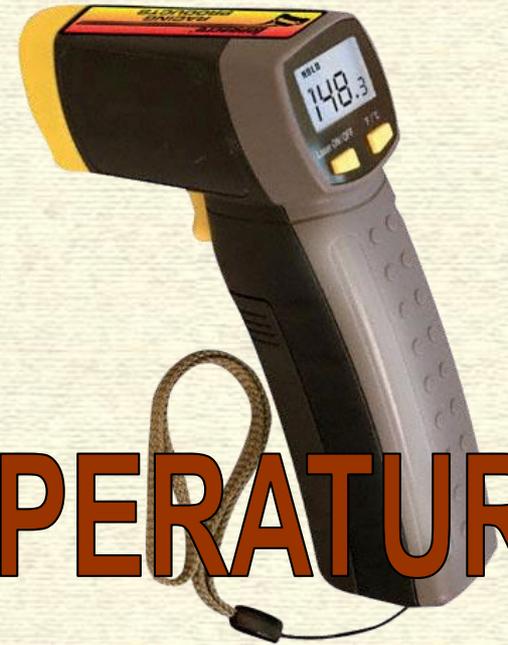


Instrumentación Industrial de Procesos



TEMA 4

ELEMENTOS DE TEMPERATURA

Departamento de Ingeniería de Procesos
y Gestión Industrial





TEMA 2: ELEMENTOS DE TEMPERATURA

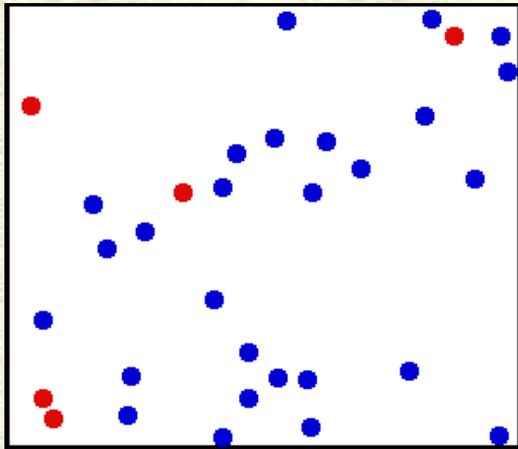
Escalas de temperatura. Termocuplas: principio de funcionamiento, características generales, tipos estandarizados, cables de compensación. Termorresistencias, principio de operación, tipos, conexiones. Termistores. Sistemas de protección.

Sistemas de dilatación: clasificación, aplicaciones y limitaciones. Indicadores: termómetros de vidrio y bimetalicos. Pirómetros de radiación, principio de funcionamiento, componentes, aplicaciones. Sistemas de control de temperatura. Especificación técnica

TEMPERATURA:

Macroscópicamente, es la propiedad intrínseca de la materia que cuantifica la posibilidad que tiene un cuerpo de transferir energía térmica.

Esto resulta del "Principio cero de la Termodinámica"

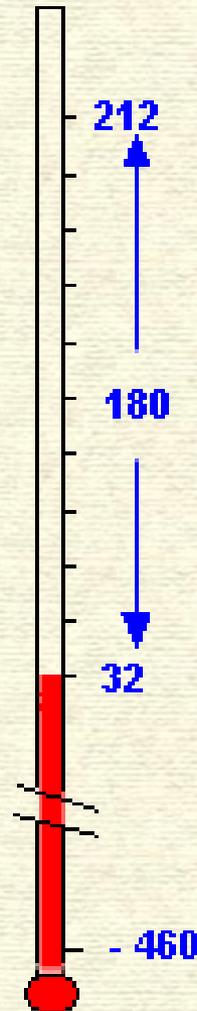


Microscópicamente, la Temperatura está vinculada con el nivel de energía que poseen las moléculas de un cuerpo.

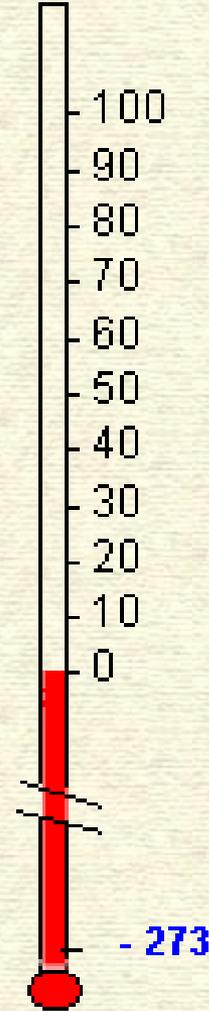
ESCALAS DE TEMPERATURA

Se toma como referencia cambios de estados de sustancias puras que se producen a una temperatura fija.

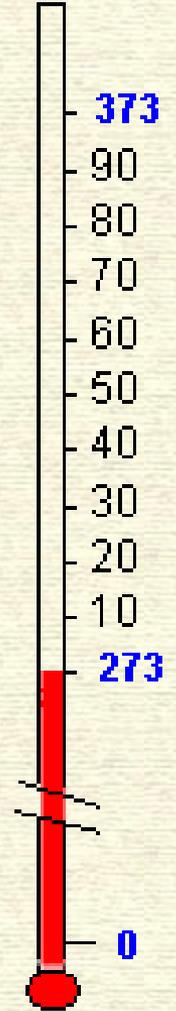
Fahrenheit



Celsius



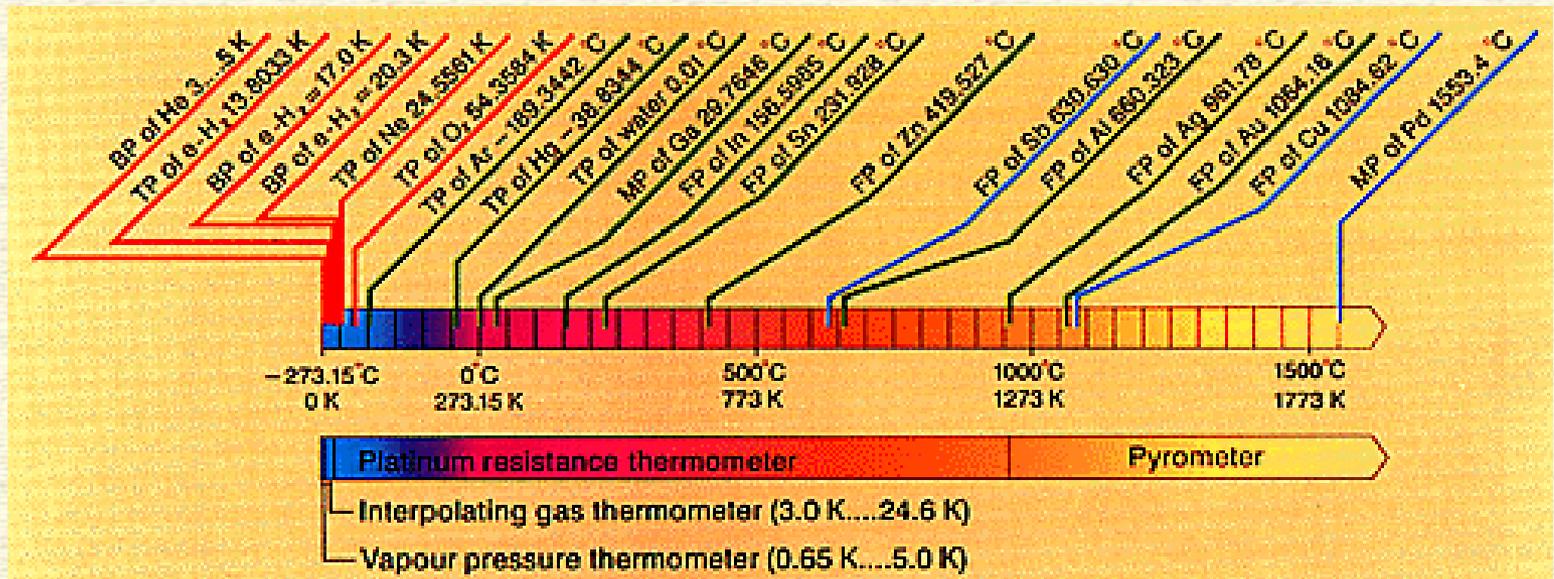
Kelvin



ESCALA INTERNACIONAL DE TEMPERATURAS DE 1990 ITS-90

La Escala Internacional de temperaturas (ITS-90) fue adoptada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas en su reunión en 1989.

La unidad fundamental (conocida) como la temperatura termodinámica, el Kelvin (K), se define como la fracción $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.





¿ POR QUÉ MEDIR TEMPERATURA EN AMBIENTES INDUSTRIALES ?

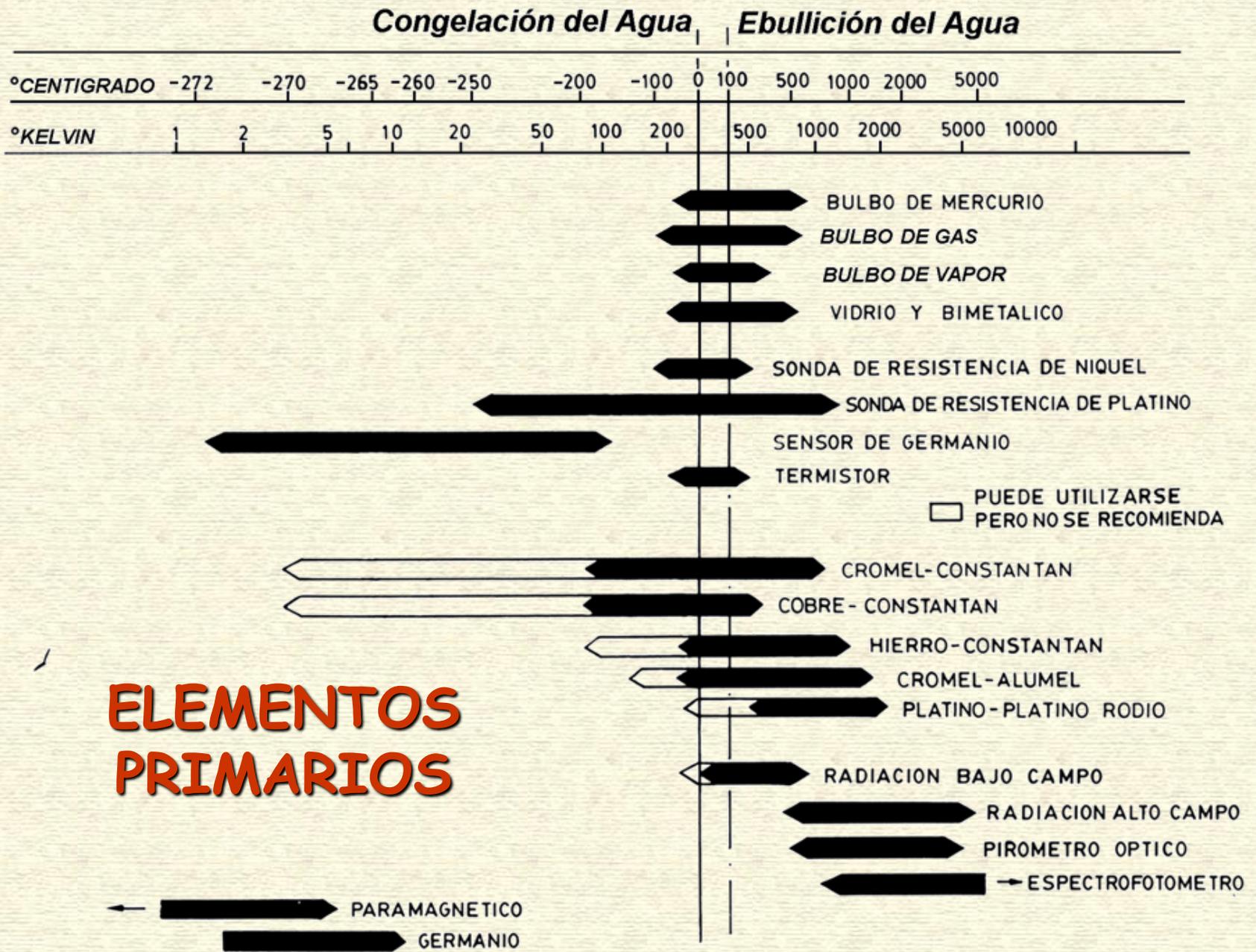
La temperatura es la variable que más frecuentemente se mide en ambientes industriales. Fundamentalmente con dos propósitos:

CONDICIONES OPERATIVAS

Para mantener condiciones de trabajo en un proceso. (Monitoreo, control y registro)

SEGURIDAD

Condiciones de alta o baja temperatura que pueden influir negativamente en el proceso.



Campo de medida de los instrumentos de temperatura.

SENSORES INDUSTRIALES



PRINCIPIO GENERAL	TIPO	Principio de funcionamiento	ALCANCE (°C)
ELÉCTRICOS	Termocupla	La f.e.m. inducida en dos alambres de distintos metales o aleaciones depende en forma directa de la diferencia de temperaturas entre los dos extremos soldados (juntas).	-200 a 2000
	Termoresistencias	Se infiere la temperatura a partir de la variación en la resistencia eléctrica de un metal, generalmente platino, cobre o níquel.	-200 a 700
	Termistores	Similar al anterior, pero de un semiconductor. La resistencia tiene relación inversa con la temperatura.	< 300
RADIACIÓN TÉRMICA	Pirómetros óptico, de radiación total y de relación	Sistema que mide la temperatura basándose en la radiación que emite la superficie cuya temperatura es censada. El elemento sensible no está en contacto con el cuerpo sobre el que se practica la medición.	-40 a 4000

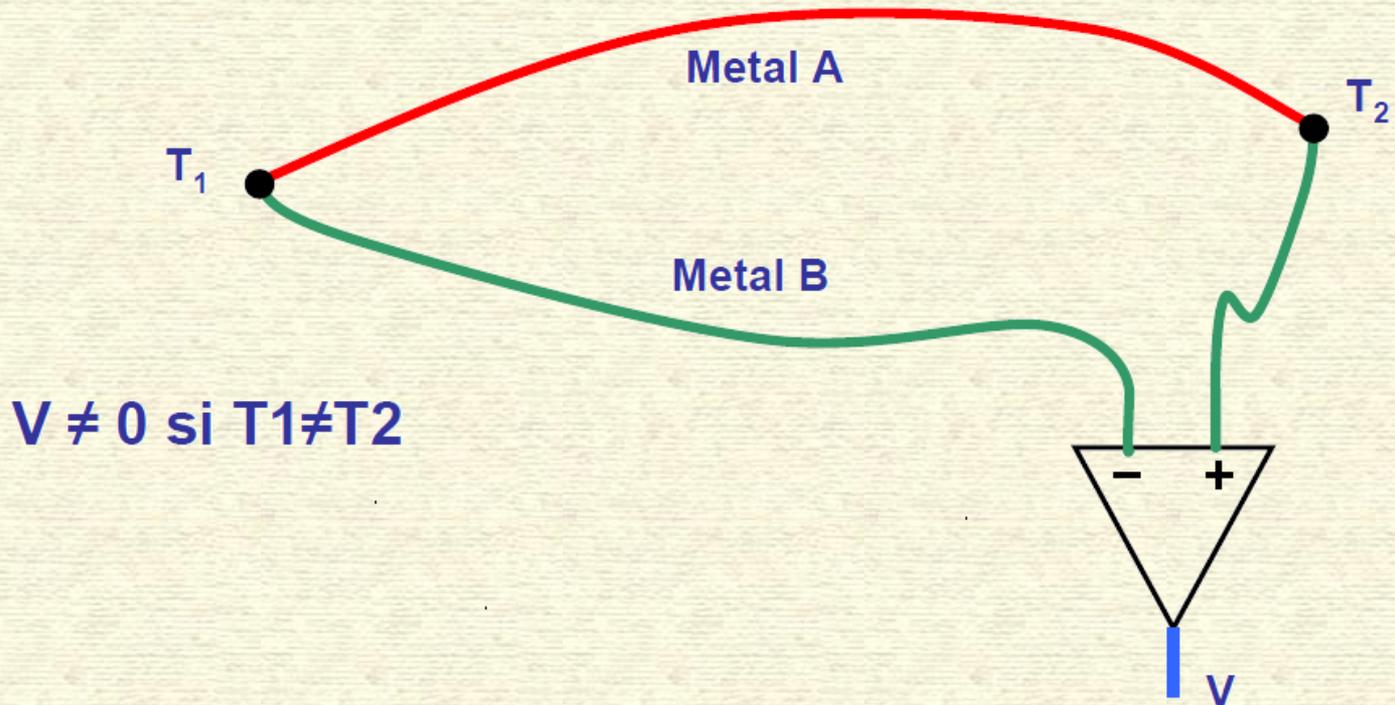


SENSORES INDUSTRIALES

PRINCIPIO GENERAL	TIPO	Principio de funcionamiento	ALCANCE (°C)
EXPANSIÓN TÉRMICA	Sistemas de dilatación	Son elementos que aprovechan la capacidad de los fluidos (líquidos y gases) de dilatarse con la temperatura. Generalmente se asocian a transmisores neumáticos.	-195 a 760
	Termómetros de vidrio	Similares a los anteriores pero para indicación sobre una escala.	-200 a 350
	Bimetálicos	Consisten en dos piezas de aleaciones de distinto coeficiente de dilatación térmica que producen cambios de forma por efecto de la temperatura.	-50 a 500
VISUALES	Indicadores de color	Se trata de compuestos químicos que tienen la propiedad de cambiar su color con la temperatura. Solo sirven de indicación	-50 a 1000

TERMOCUPLAS

Un termocupla se compone de dos hilos de diferentes metales unidos en sus extremos. Las uniones se llaman **juntas**. Una junta es la **junta caliente o de medición** y la otra la **de referencia o junta fría**.



TERMOCUPLAS

El principio de medición de temperatura con termocuplas se basa en **tres** principios físicos:

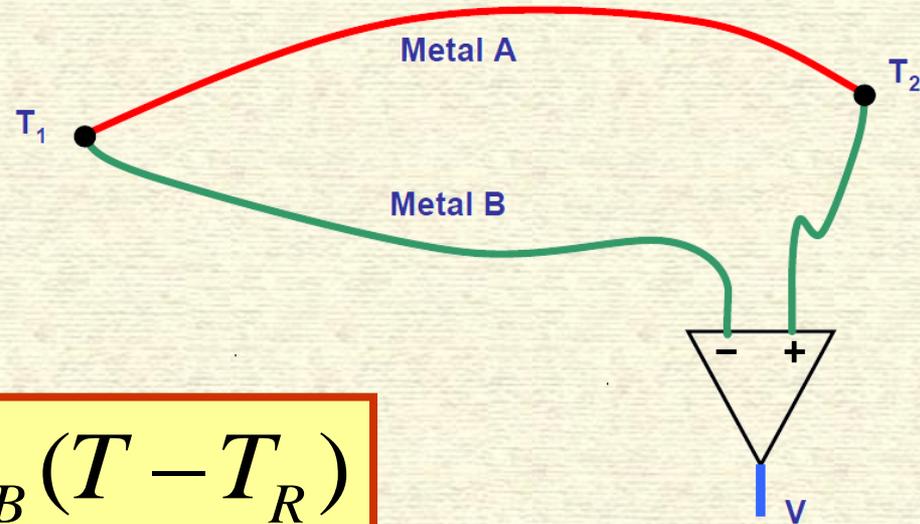
1.- Efecto Seebeck: al unir dos cables de materiales diferentes formando un circuito, se induce una fuerza electromotriz cuando las juntas se encuentran a diferente temperatura.

2.- Efecto Peltier: cuando una corriente eléctrica fluye a través de una junta de dos metales diferentes, se libera o absorbe calor. Cuando la corriente eléctrica fluye en la misma dirección que la corriente Seebeck, el calor es absorbido en la junta caliente y liberado en la junta fría.

3.- Efecto Thomson: un gradiente de temperatura en un conductor metálico está acompañado por un gradiente de voltaje, cuya magnitud y dirección depende del metal que se esté utilizando.

TERMOCUPLAS

El **Efecto Seebeck** es el preponderante en mediciones industriales.



$$\varepsilon = S_A (T - T_R) - S_B (T - T_R)$$

Coeficientes de Seebeck (absolutos)

Coeficiente de Seebeck (relativo A a B)

$$\varepsilon = S_{AB} (T - T_R) = (S_A - S_B)(T - T_R)$$

Como el Coeficiente de Seebeck depende de la temperatura la forma más general es diferencial

$$d\varepsilon = S_{AB} dT$$

ESTÁNDARES PARA TERMOCUPLAS

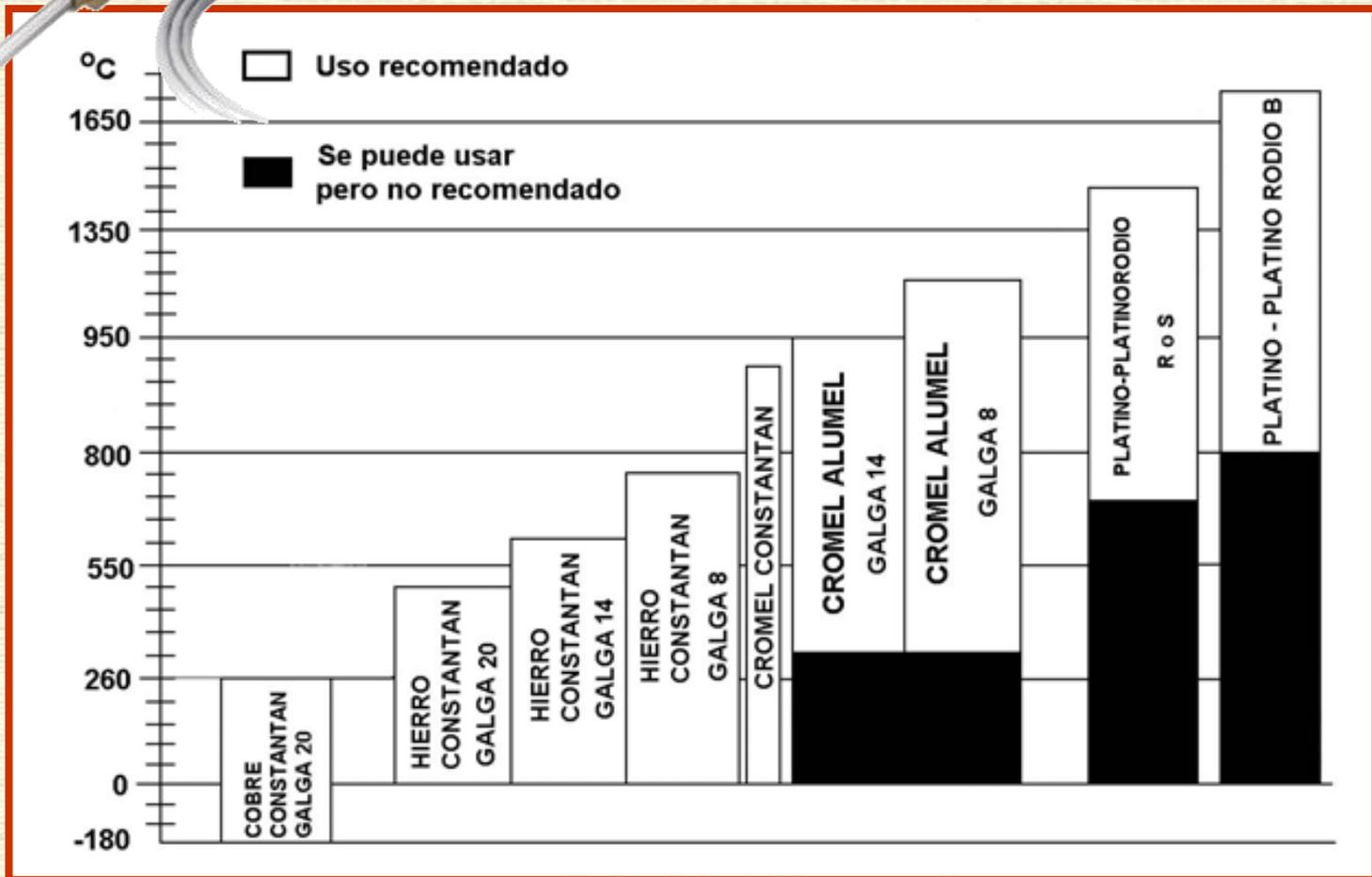
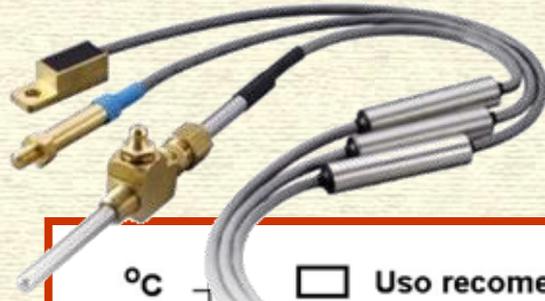


Hay termocuplas estandarizadas (Norma internacional **IEC-584** que unifica estandarizaciones nacionales DIN, BS, ANSI, etc.). Son siete y se identifican con una letra Mayúscula.

Tipo	Alcance Temperatura °C	Materiales y Aleaciones (+) Vs. (-)
Metal - Base		
E	-270 a 1 000	níquel - cromo Vs. cobre - níquel
J	-210 a 1 200	hierro Vs. cobre - níquel
T	-270 a 400	cobre Vs. cobre - níquel
K	-270 a 1 372	níquel - cromo Vs. níquel - aluminio
Metal - Noble		
R	-50 a 1 768	platino - 13 % rodio Vs. platino
S	-50 a 1 768	platino - 10 % rodio Vs. platino
B	0 a 1 820	platino - 30 % rodio Vs. platino - 6 % rodio

ESTÁNDARES PARA TERMOCUPLAS

Rangos de aplicación de Termocuplas estandarizadas



ESTÁNDARES PARA TERMOCUPLAS

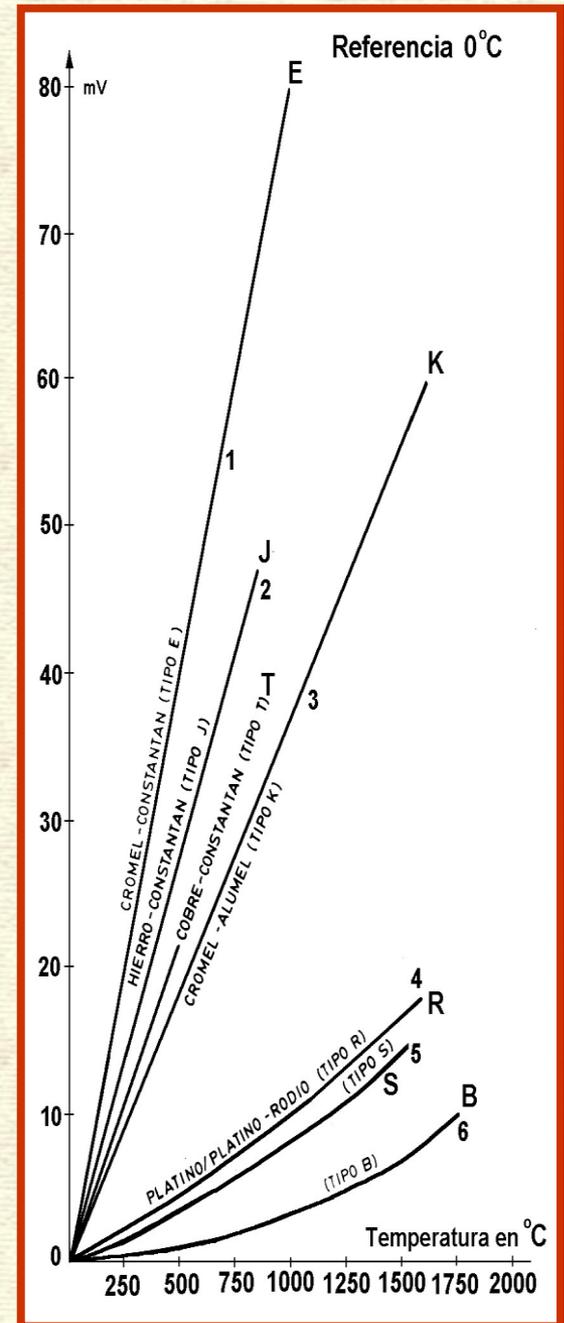


Las **Curvas características** de **termocuplas** se presentan como tablas, gráficos o fórmulas polinómicas.

Type J Thermocouples -- thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

Thermoelectric Voltage in mV											
	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	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585

$$\varepsilon = a_0 + a_1(T - T_R) + a_2(T - T_R)^2 + a_3(T - T_R)^3 + \dots$$



ESTÁNDARES PARA TERMOCUPLAS

El estándar establece la incertidumbre de cada tipo



	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Incertidumbres (+/-)	0.5°C o 0.4%	1°C o 0.75%	1°C o 1.5%
<i>Límites de temperatura para la validez de las incertidumbres</i>			
Tipo T	-40 a 350°C	-40 a 350°C	-200 a 40°C
Incertidumbres (+/-)	1.5°C o 0.4%	2.5 °C o 0.75%	2.51°C o 1.5%
<i>Límites de temperatura para la validez de las incertidumbres</i>			
Tipo E	-40 a 800°C	-40 a 900°C	-200 a 40°C
Tipo J	-40 a 750°C	-40 a 750°C	0
Tipo K	-40 a 1000°C	-40 a 1200°C	-200 a 40°C
Tipo N	-40 a 1000°C	-40 a 1200°C	-200 a 40°C
Incertidumbres (+/-)	1°C + 0.3% de It-1000 ^c	1.5°C o 0.25%	4°C o 0.5%
<i>Límites de temperatura para la validez de las incertidumbres</i>			
Tipo R o S	0 a 1600°C	0 a 1600°C	0
Tipo B	0 a 1600°C	600 a 1700°C	600 a 1700°C

ESTÁNDARES PARA TERMOCUPLAS



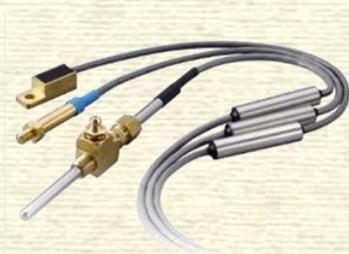
Casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo **J** ó del tipo **K**.

Las termocuplas tipo **J** se usan ampliamente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas.

La termocupla **K** se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C (fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos).

Las termocuplas **R**, **S**, **B** son típicas en la industria Siderúrgica.

Las tipo **T** son usadas en la industria de alimentos, donde compiten con las termoresistencias Pt100. Especiales para aplicaciones criométricas



ESTÁNDARES PARA TERMOCUPLAS

Hay diversas termocuplas que no tienen estándares generales, y se suelen emplear en aplicaciones especiales.

Tungsteno - Rhenio: termopar que puede ser utilizado en forma continua hasta 2300 °C y por periodos cortos hasta 2750 °C

Iridio - Rhodio/Iridio: Utilizados por periodos limitados hasta 2000°C

Oro - Hierro/Cromel: Utilizados en temperaturas criogénicas

NicroSil(1) - NiSil(2) - (níquel-cromo-silicio / níquel-silicio): Calibración desde - 240 a 1.230°C; similar a la termocupla Tipo K, con una mejor estabilidad y mayor vida útil

PROPIEDADES REQUEIRIDAS A LOS PARES DE METALES UTILIZADOS EN TERMOCUPLAS

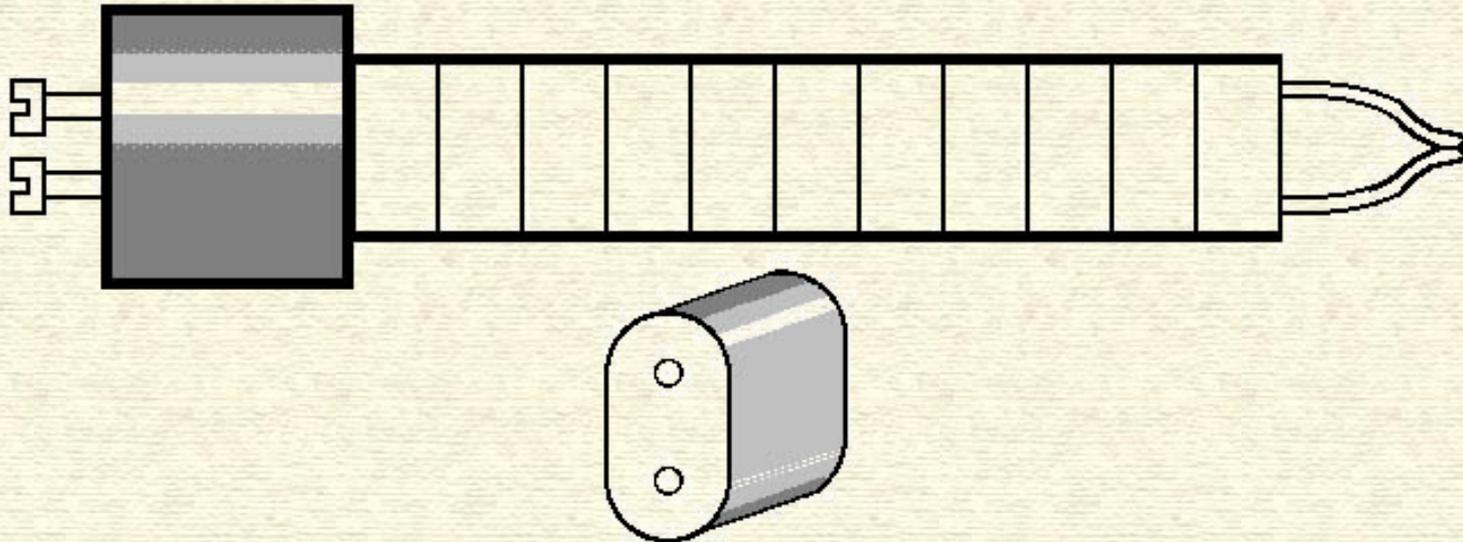


1. Deben generar fem suficientes para el instrumental de adquisición, dentro del rango de medición.
2. La calibración del par debe ser estable
3. El par debe ser intercambiable.
4. Resistencia del par a las condiciones de proceso (robustez)
5. Ser económico

TERMOCUPLAS

Aspectos constructivos

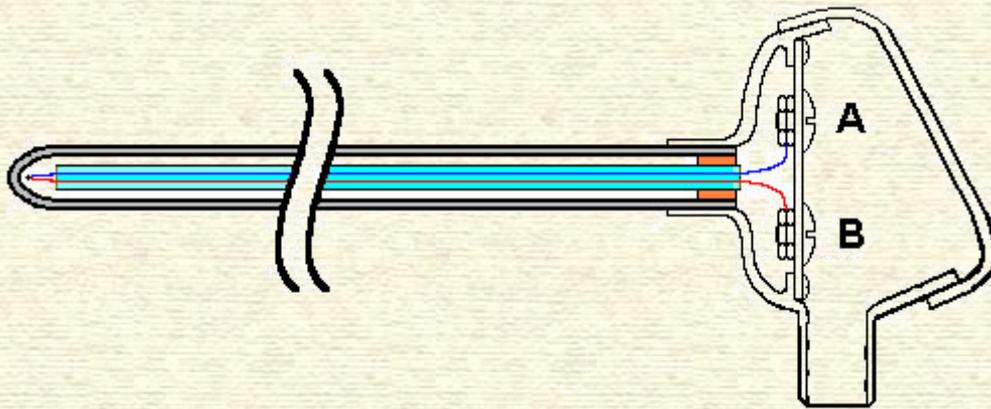
En las termocuplas se emplean cables normalizados y algún tipo de aislante adecuado. La unión de medición se forma en un extremo soldando los dos alambres conductores fundiéndolos entre sí bajo una atmósfera inerte de argón.



TERMOCUPLAS

Aspectos constructivos

La termocupla suele ir montada en una carcasa o vaina cerrada en su extremo. Debe ser de alguna aleación metálica o cerámica a fin de resistir las condiciones del proceso, corrosivas, alta temperatura, etc.

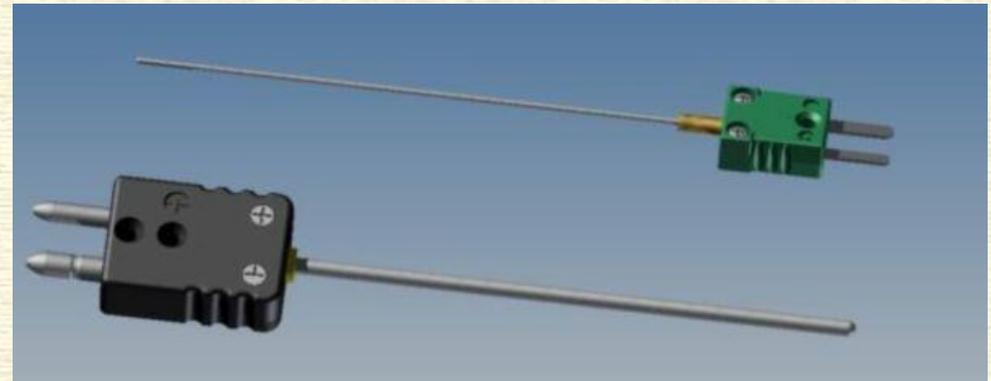
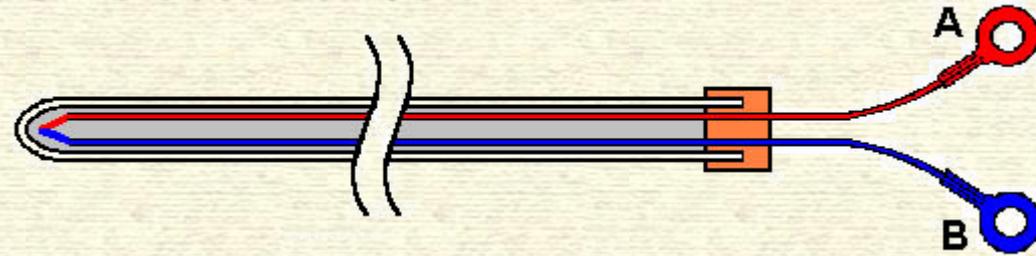


TERMOCUPLAS

Aspectos constructivos

Hay **unidades blindadas o herméticas** en las que los cables conductores están envueltos en un polvo mineral aislante e inerte compactados en una camisa metálica que se sella.

La camisa puede ser de acero inoxidable o aleaciones de níquel. Las unidades herméticas se consiguen en diámetros externos desde 0.25 hasta más de 10 mm.



TERMOCUPLAS - Aspectos constructivos

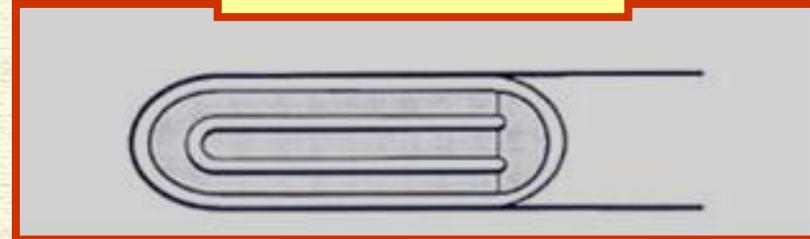
Las termocuplas que tienen la unión caliente expuesta directamente al proceso tienen una respuesta más rápida (menor tiempo de respuesta) ya que las variaciones de temperatura no necesitan atravesar la vaina para ser detectadas.



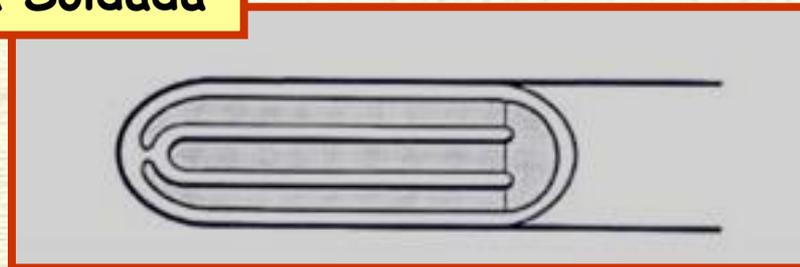
Junta Expuesta



Junta Aislada

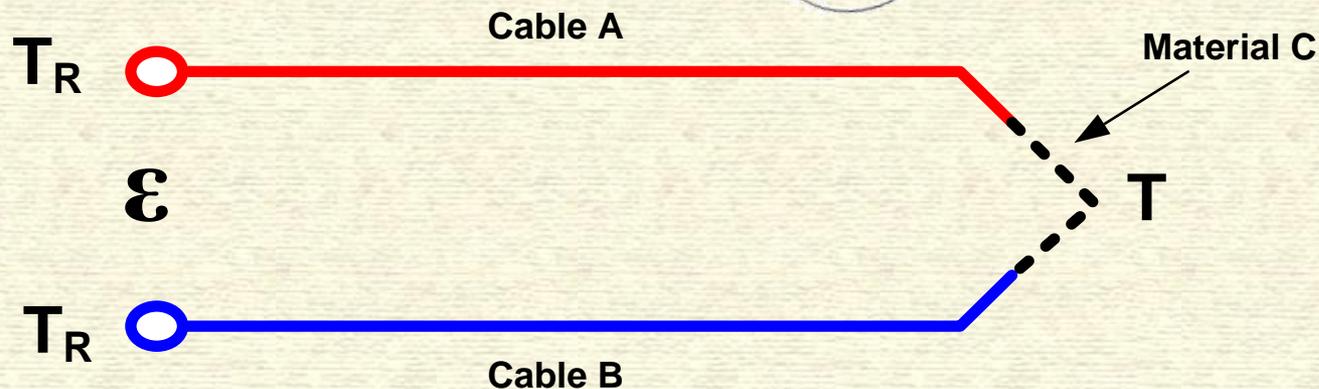


Junta Soldada



TERMOCUPLAS - Aspectos constructivos

El material de la junta soldada no influye ya que se encuentra a la misma temperatura de medición T

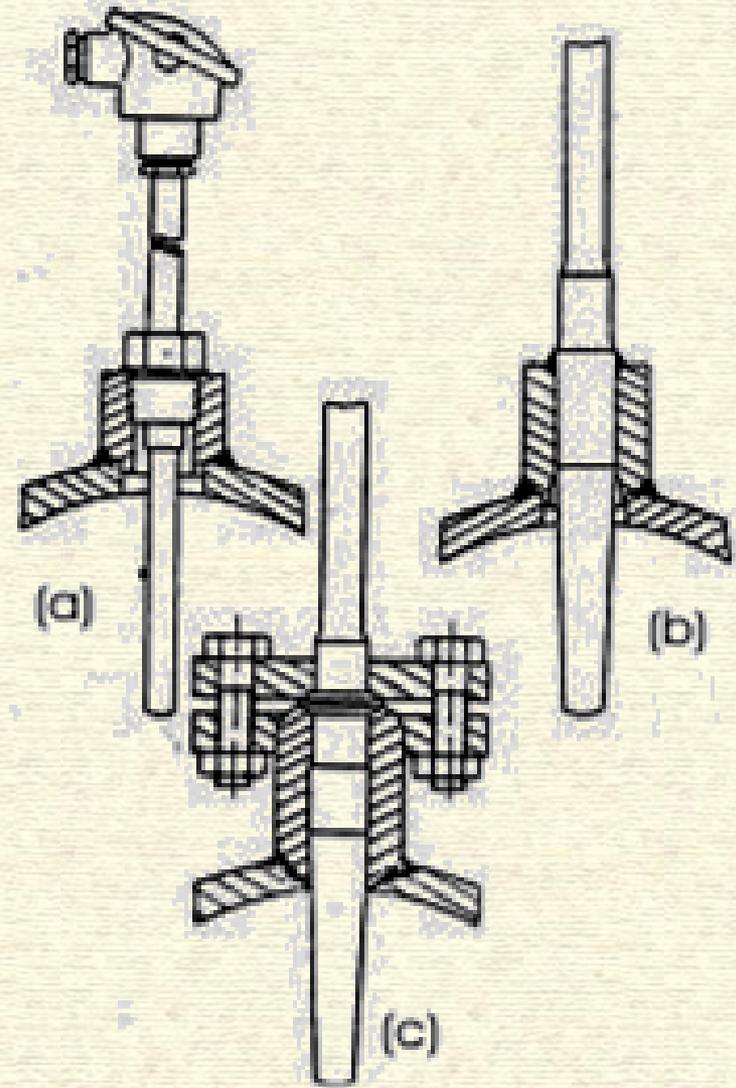


$$\begin{aligned}\epsilon &= S_A (T - T_R) + S_C (T - T) + S_B (T_R - T) = \\ &= S_{AB} (T - T_R)\end{aligned}$$

TERMOCUPLAS

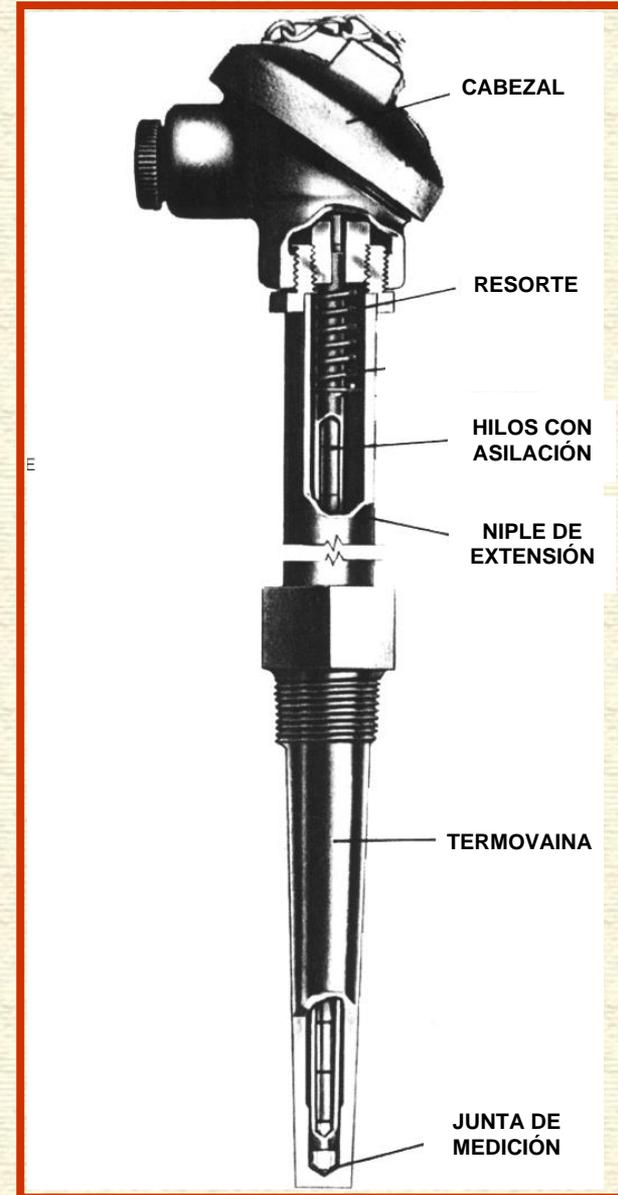
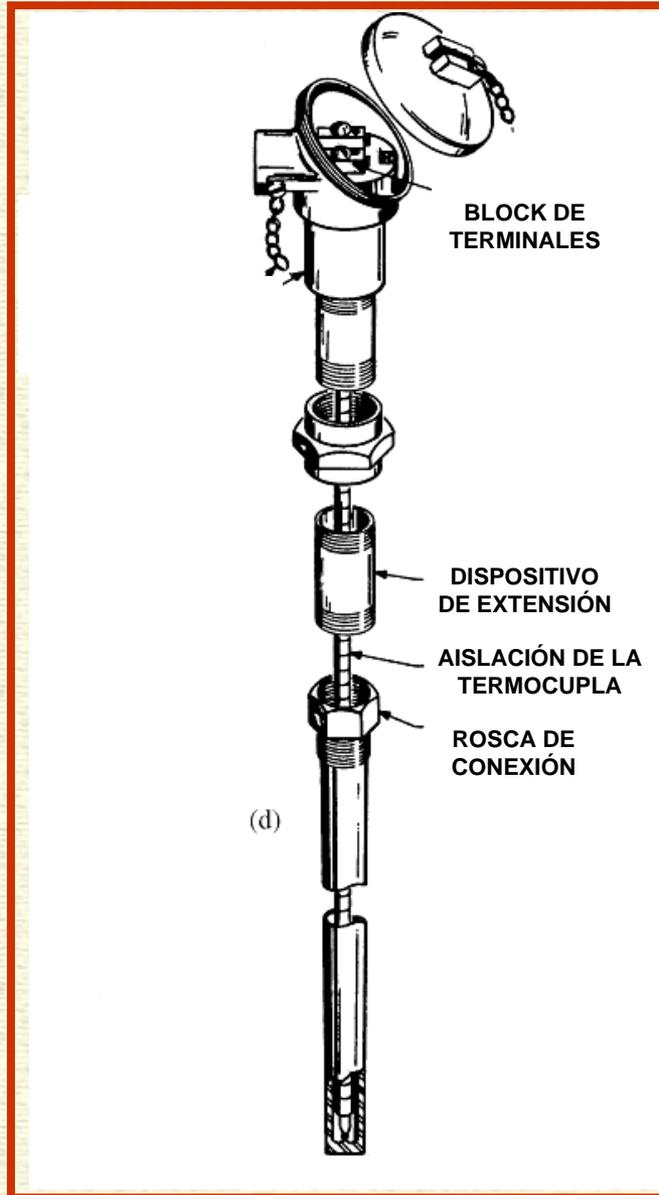
Aspectos constructivos

Hay múltiples formas en que se puede montar el elemento de medición con su vaina.



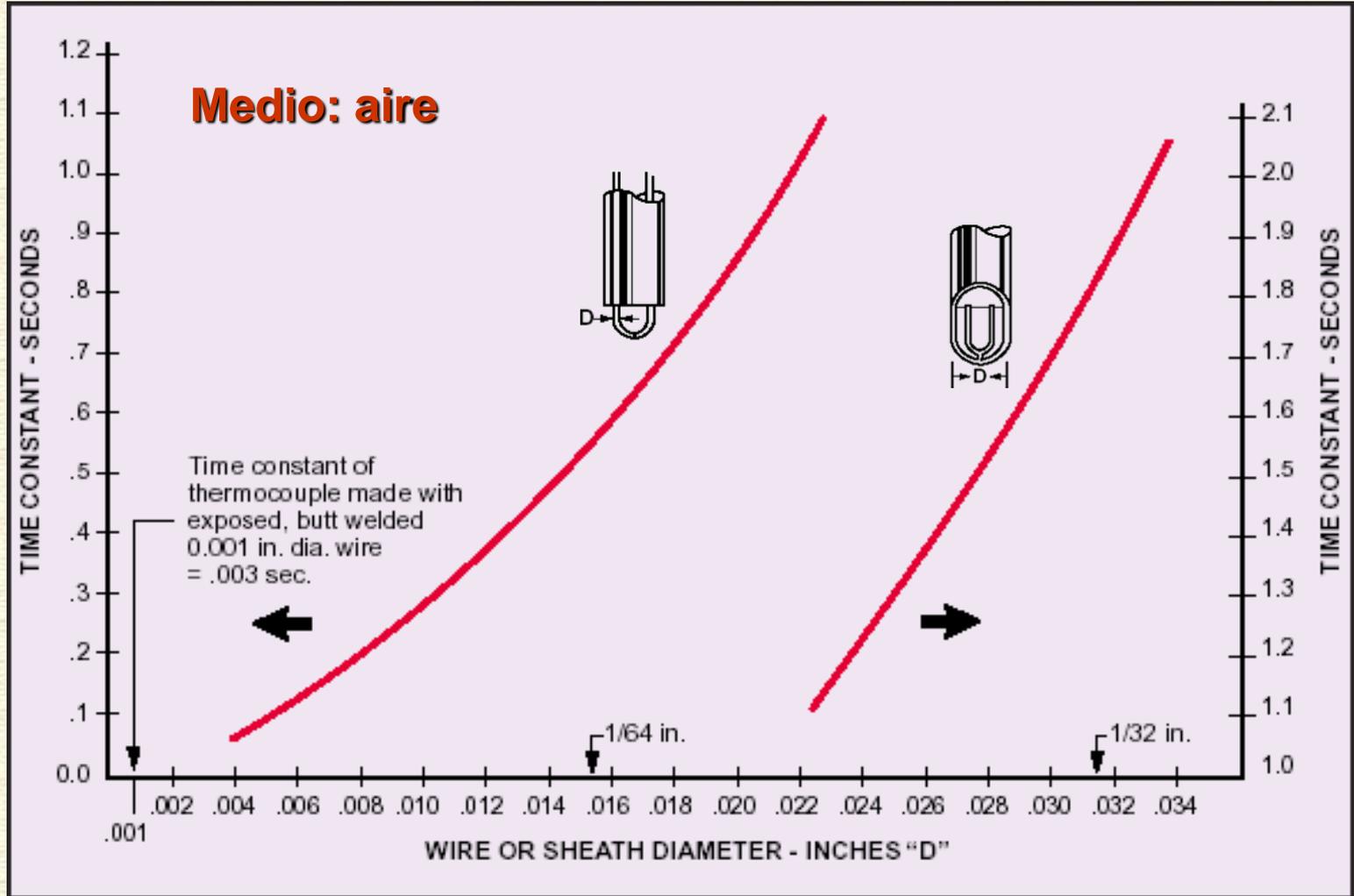
- (a) Unión roscada
- (b) Vaina soldada
- (c) Unión bridada

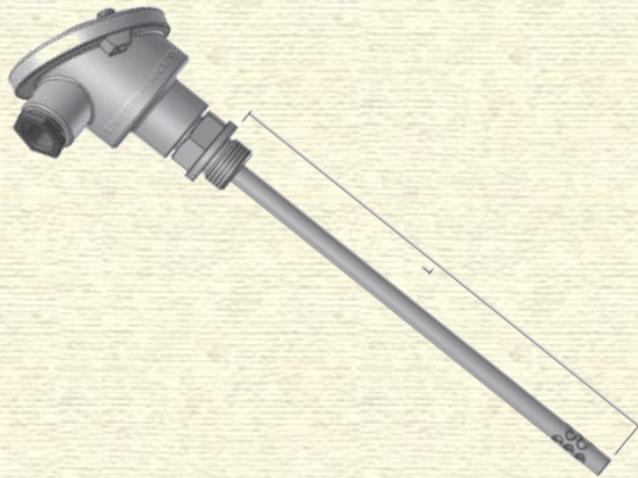
TERMOCUPLAS - Aspectos constructivos



TERMOCUPLAS Dinámica

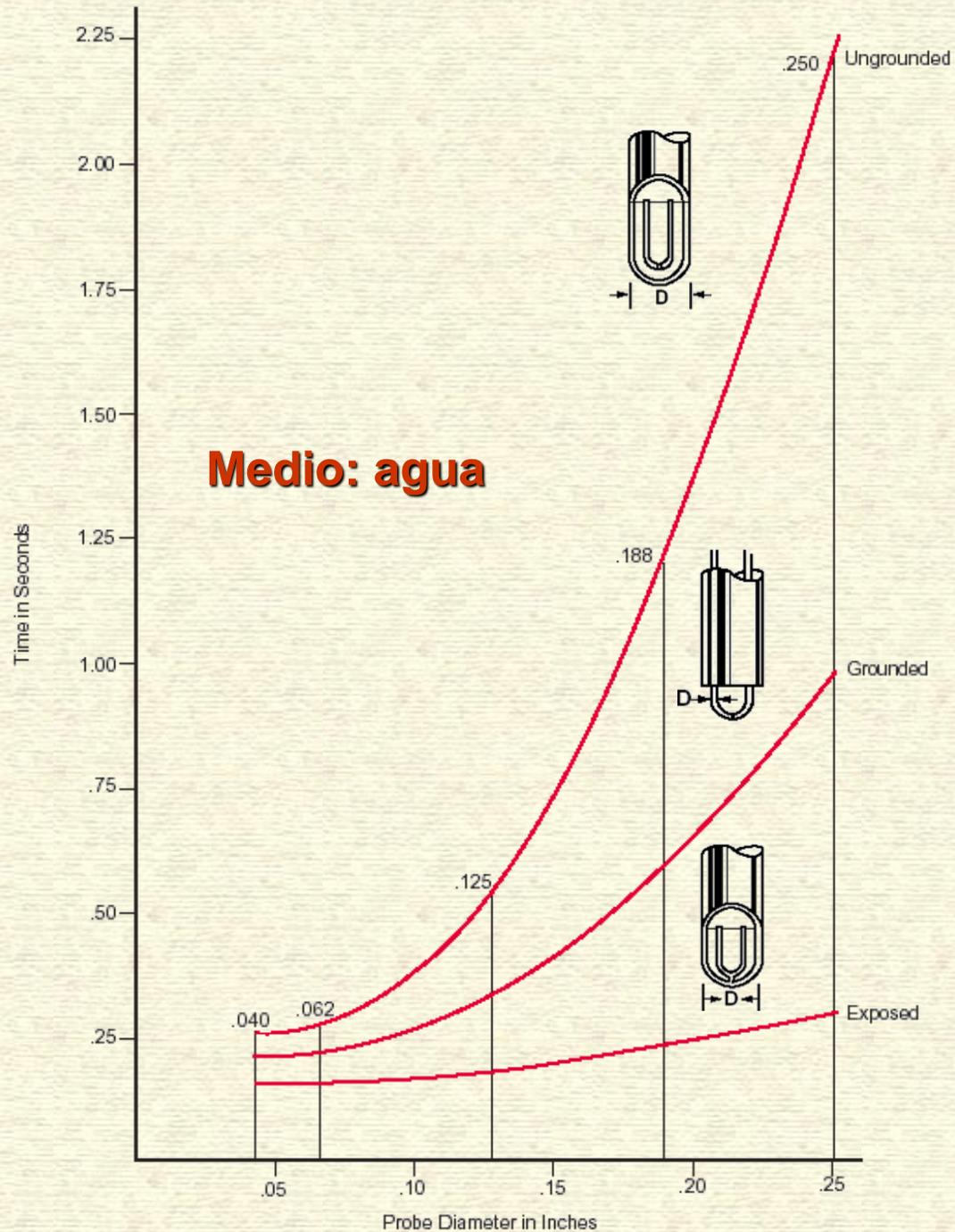
El tiempo de respuesta varía según el diámetro, tipo de junta y medio.





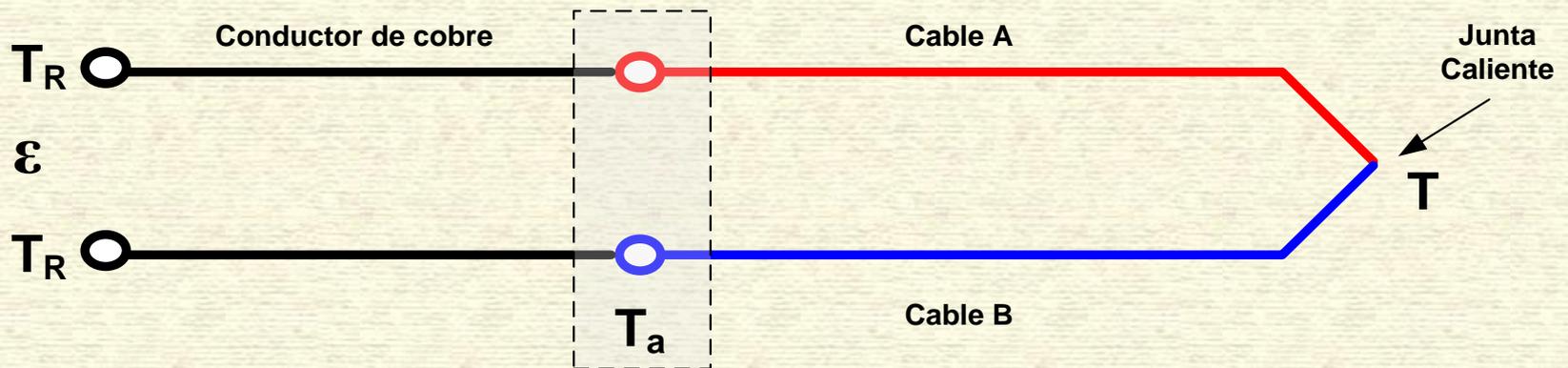
TERMOCUPLAS Dinámica

El tiempo de respuesta varía según el diámetro, tipo de junta y medio.



TERMOCUPLAS - Compensación de cero

Un inconveniente la necesidad de "compensación de cero". Cuando el instrumento está muy retirado del lugar de medición, no siempre es posible llegar con el mismo cable de la termocupla al instrumento. Al empalmar los cables de la termocupla con un conductor normal de cobre se producirán dos nuevas termocuplas con el cobre como metal para ambas, generando cada una una fem adicional.

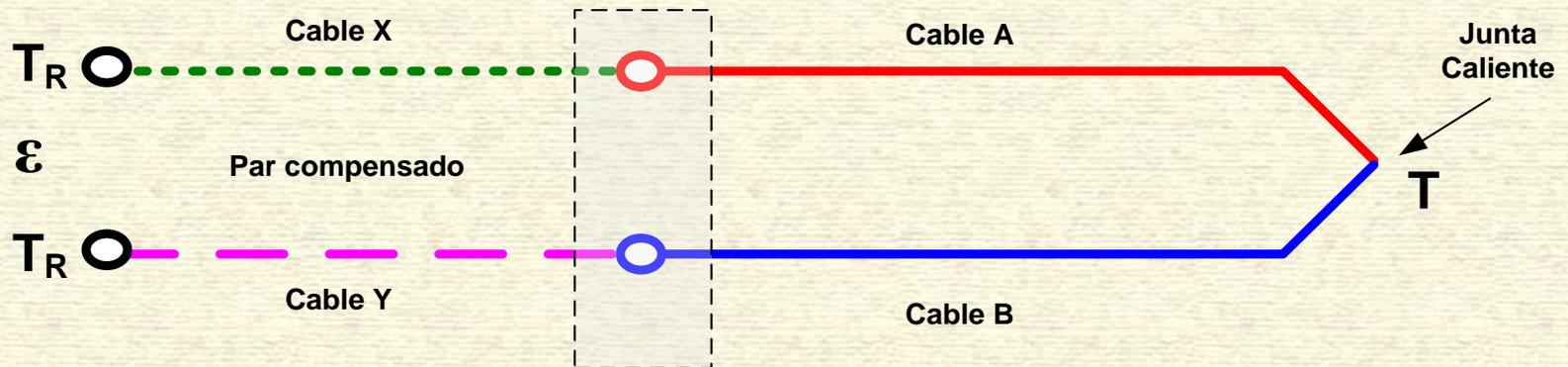


$$\begin{aligned}\mathcal{E} &= S_{Cu} (T_a - T_R) + S_A (T - T_a) + S_B (T_a - T) + S_{Cu} (T_R - T_a) = \\ &= S_{AB} (T - T_a) +\end{aligned}$$

La referencia pasa a ser la temperatura ambiente en el punto de conexión

TERMOCUPLAS - Compensación de cero

La solución al problema de los cables de conexión es usar los llamados "**cables compensados**" para hacer la extensión del cable. Estos exhiben el mismo coeficiente de Seebeck de la termocupla (pero hechos de otro material de menor precio) y por lo tanto no generan termocuplas parásitas en el empalme..



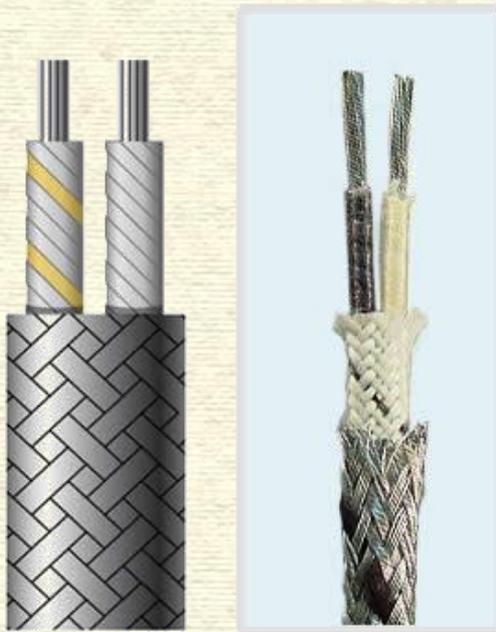
$$\begin{aligned}\varepsilon &= S_X (T_a - T_R) + S_A (T - T_a) + S_B (T_a - T) + S_Y (T_R - T_a) = \\ &= S_{AB} (T - T_a) + S_{XY} (T_a - T_R) \cong S_{AB} (T - T_R)\end{aligned}$$

Un par compensado cumple que $S_{AB} \cong S_{XY}$

TERMOCUPLAS

Cables compensados

Cables Compensados para termocupla tipo J con cubierta de fibra de vidrio y malla Ac. Inoxidable.

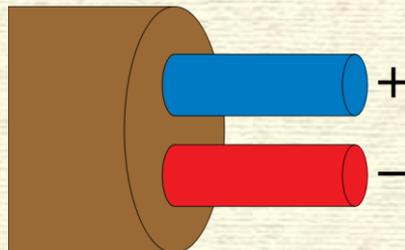


Cables Compensados para termocupla tipo R/S de Goma Siliconada sanitaria.

TERMOCUPLAS - Compensación de cero

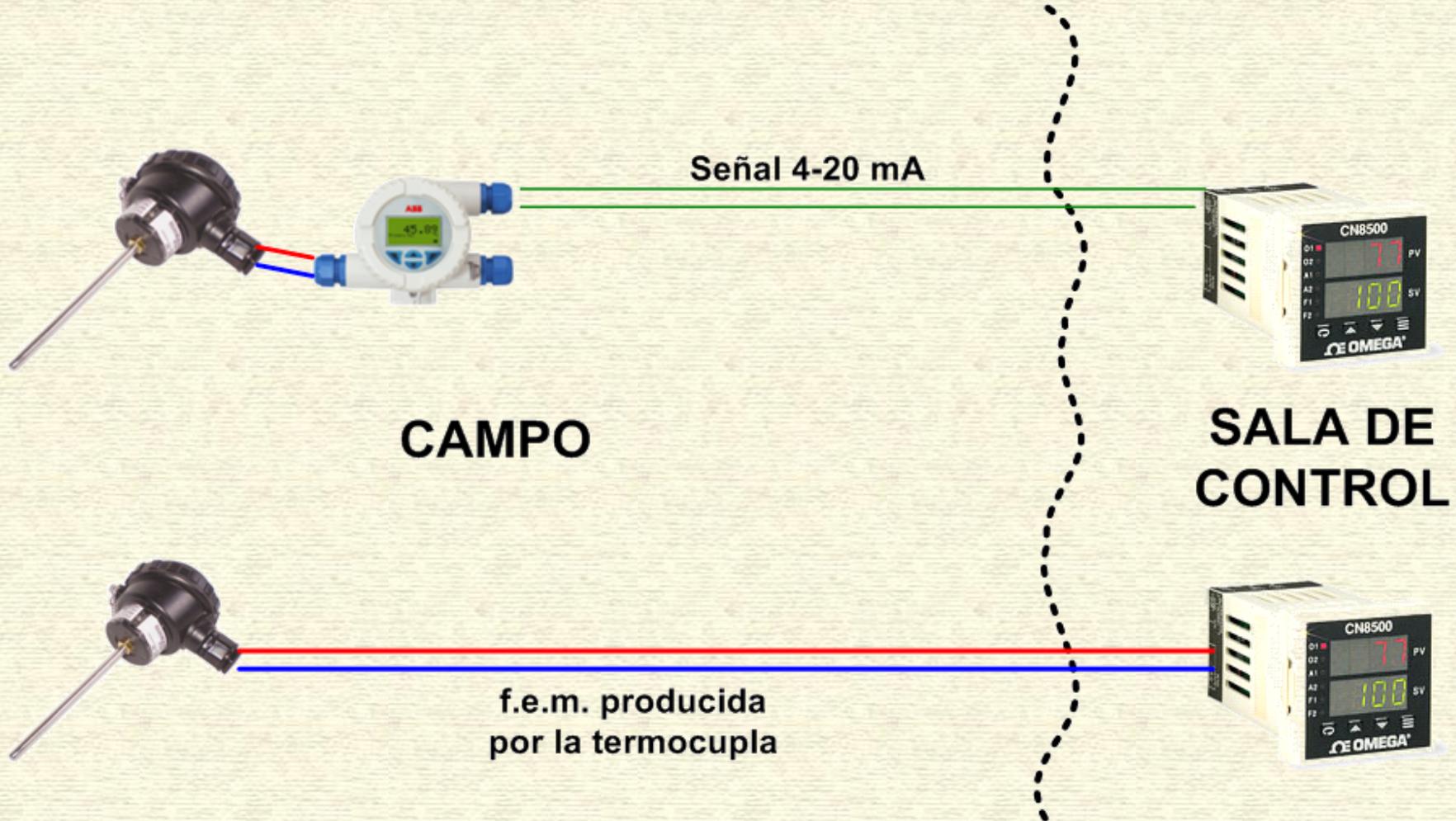
La fem neta generada es función de las temperaturas de ambas juntas, por lo que se requiere el control o la compensación de la temperatura de la junta de referencia (o junta fría), lo cual se puede lograr de maneras distintas.

- 📌 El método básico y más exacto es el de controlar la temperatura de la junta de referencia,
- 📌 Otro método consiste en medir la temperatura en la junta de referencia utilizando cualquier tipo de dispositivo de medición de temperatura, y luego, compensar la lectura de la temperatura de la junta de medición.



TERMOCUPLAS

Transmisión de señales



Hay transmisores dedicados y transmisores universales que manejan distintos tipos de entradas: termocuplas estándar, RTD, mV, etc.

TRANSMISOR DE TEMPERATURA



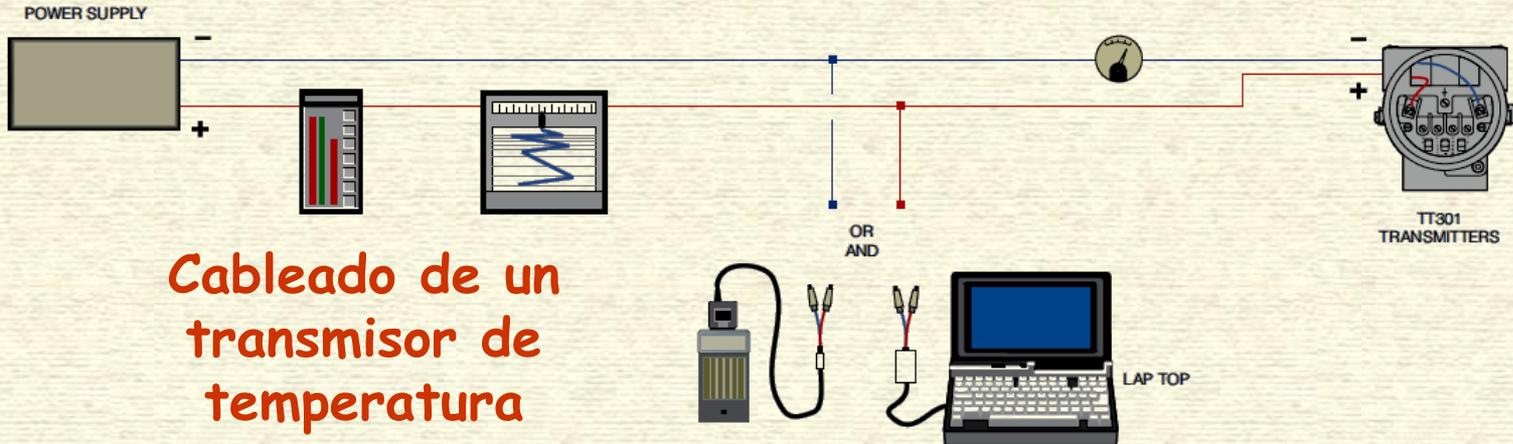
Montaje en campo



Montaje separado en campo o remoto



Montaje en campo



Cableado de un transmisor de temperatura

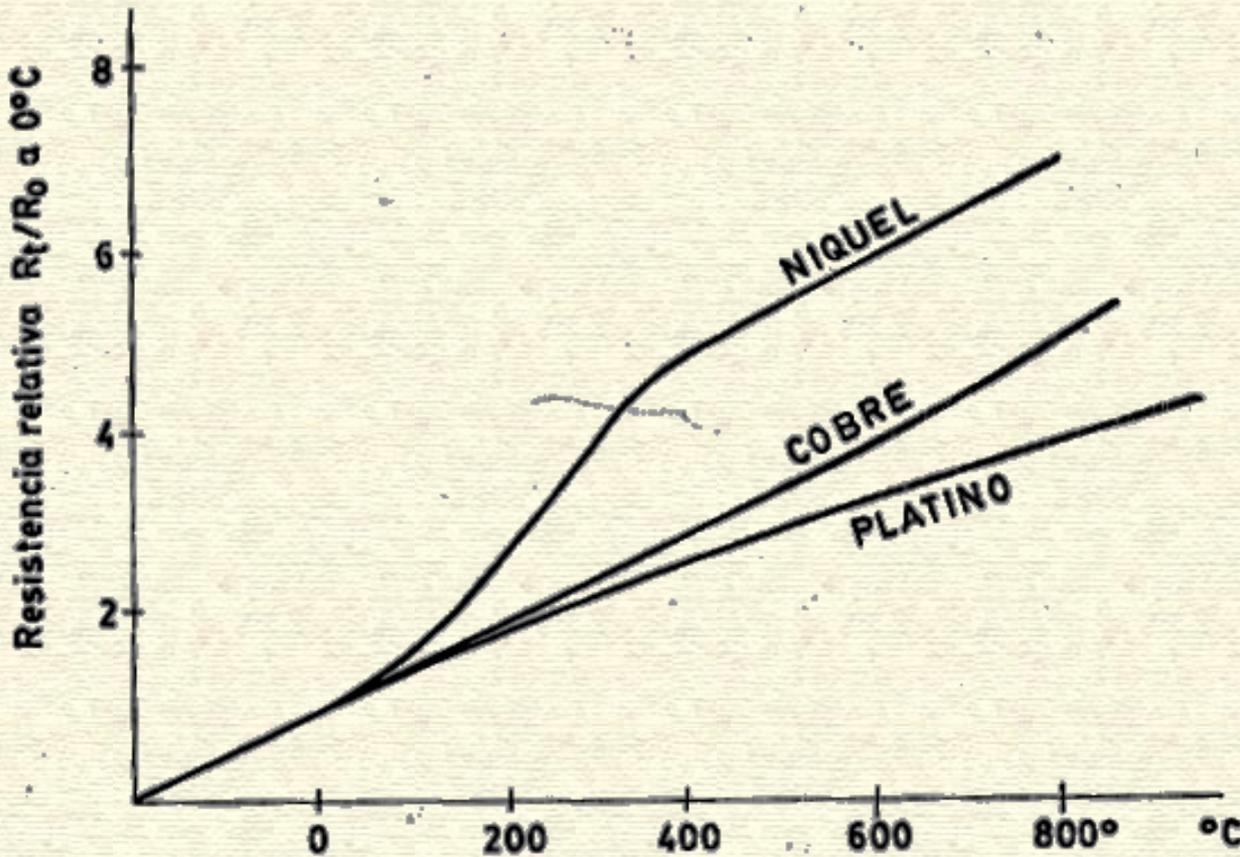
TERMOCUPLAS

Código de colores para cableado

ANSI Code	ANSI MC 96.1 Color Coding		Alloy Combination		Comments Environment Bare Wire	Maximum T/C Grade Temp. Range	EMF (mV) Over Max. Temp. Range	IEC 584-3 Color Coding		IEC Code
	Thermocouple Grade	Extension Grade	+ Lead	- Lead				Thermocouple Grade	Intrinsically Safe	
J			IRON Fe (magnetic)	CONSTANTAN COPPER- NICKEL Cu-Ni	Reducing, Vacuum, Inert. Limited Use in Oxidizing at High Temperatures. Not Recommended for Low Temperatures.	-210 to 1200°C -346 to 2193°F	-8.095 to 69.553			J
K			CHROMEKA® NICKEL- CHROMIUM Ni-Cr	ALOMEGA® NICKEL- ALUMINUM Ni-Al (magnetic)	Clean Oxidizing and Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Wide Temperature Range. Most Popular Calibration	-270 to 1372°C -454 to 2501°F	-6.458 to 54.886			K
T			COPPER Cu	CONSTANTAN COPPER- NICKEL Cu-Ni	Mild Oxidizing, Reducing Vacuum or Inert. Good Where Moisture Is Present. Low Temperature & Cryogenic Applications	-270 to 400°C -454 to 752°F	-6.258 to 20.872			T
E			CHROMEKA® NICKEL- CHROMIUM Ni-Cr	CONSTANTAN COPPER- NICKEL Cu-Ni	Oxidizing or Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Highest EMF Change Per Degree	-270 to 1000°C -454 to 1832°F	-9.835 to 76.373			E

TERMORESISTENCIAS

Las **termorresistencias** trabajan según el principio de que en la resistencia eléctrica de un metal cambia (aumenta) con la temperatura.



Los metales que se emplean son platino, níquel, níquel-hierro, cobre y tungsteno.

TERMORESISTENCIAS



El platino es el metal más empleado por la precisión y estabilidad aunque presenta mayores costos. A nivel industrial la más difundida es la **Pt-100** ($R = 100 \Omega$ a 0°C).

Para el platino en intervalos estrechos vale

$$R = R_0 (1 + \alpha T)$$

Para intervalos amplios, se aplica la Polinómica de Calendar - van Dusen

$$R = R_0 \left\{ 1 + \alpha \left[T - \delta \left(1 - \frac{T}{100} \right) \frac{T}{100} - \beta \left(1 - \frac{T}{100} \right) \left(\frac{T}{100} \right)^3 \right] \right\}$$

Normas IEC 751,
BS-1904, ASTM
1137

α Vale alrededor de 0.0385

TERMORESISTENCIAS



El **níquel** es una alternativa al platino debido a su menor costo, pero no es suficientemente lineal.

El **cobre** presenta una mayor linealidad, pero tiene la desventaja de presentar baja resistencia eléctrica, lo que hace que su precisión sea menor. Además su rango de aplicación es bajo.

<i>Metal</i>	<i>Resistividad $\mu\Omega/\text{cm}$</i>	<i>Coefficiente temp. $\Omega/\Omega, ^\circ\text{C}$</i>	<i>Intervalo útil de temp. $^\circ\text{C}$</i>	<i>\varnothing mín. de hilo mm</i>	<i>Coste relativo</i>
Platino	9,83	0,00385	— 200 a 950	0,05	Alto
Níquel	6,38	0,0063 a 0,0066	— 150 a 300	»	Medio
Cobre	1,56	0,00425	— 200 a 120	»	Bajo

TERMORESISTENCIAS

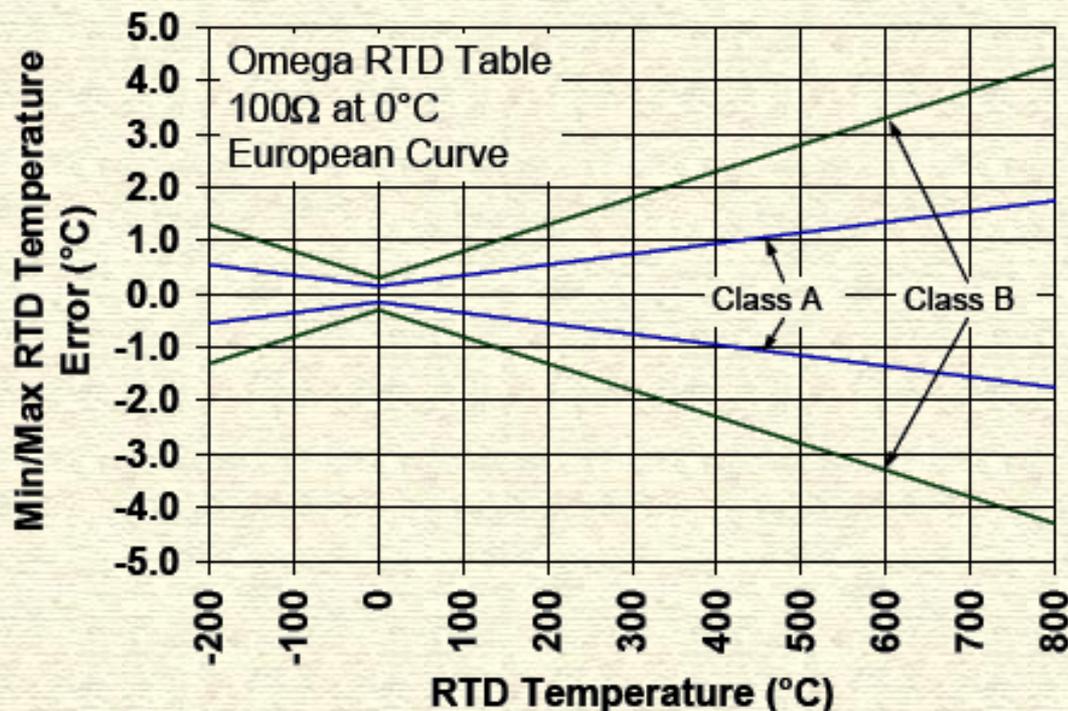
Precisión

Para el platino, en función a la **incertidumbre de medición** en dos clases:

$$\text{Clase A: } 0,15 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0,002 \cdot |t|$$

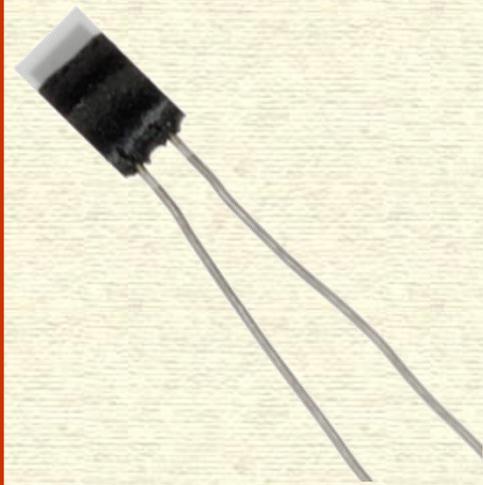
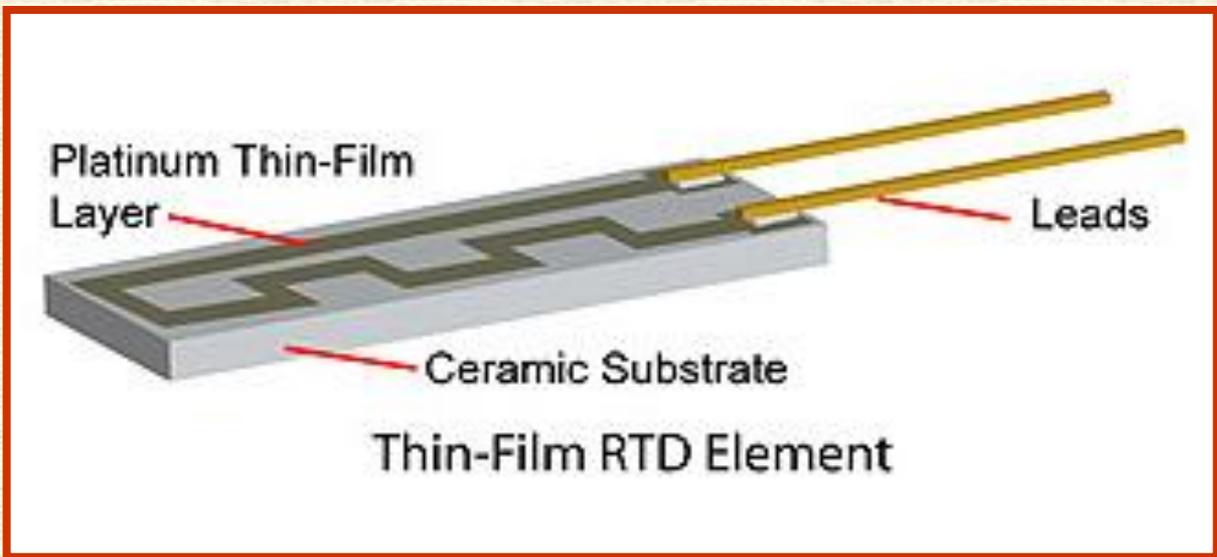
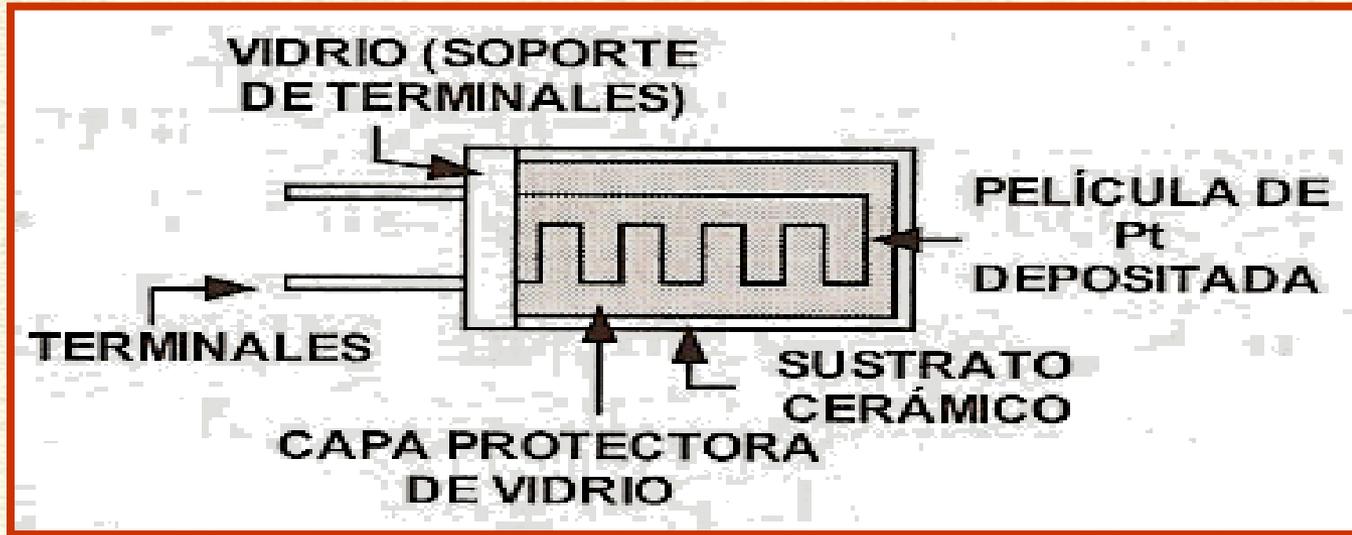
$$\text{Clase B: } 0,3 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0,005 \cdot |t|$$

donde $|t|$ es el valor absoluto de la temperatura en ($^\circ\text{C}$)



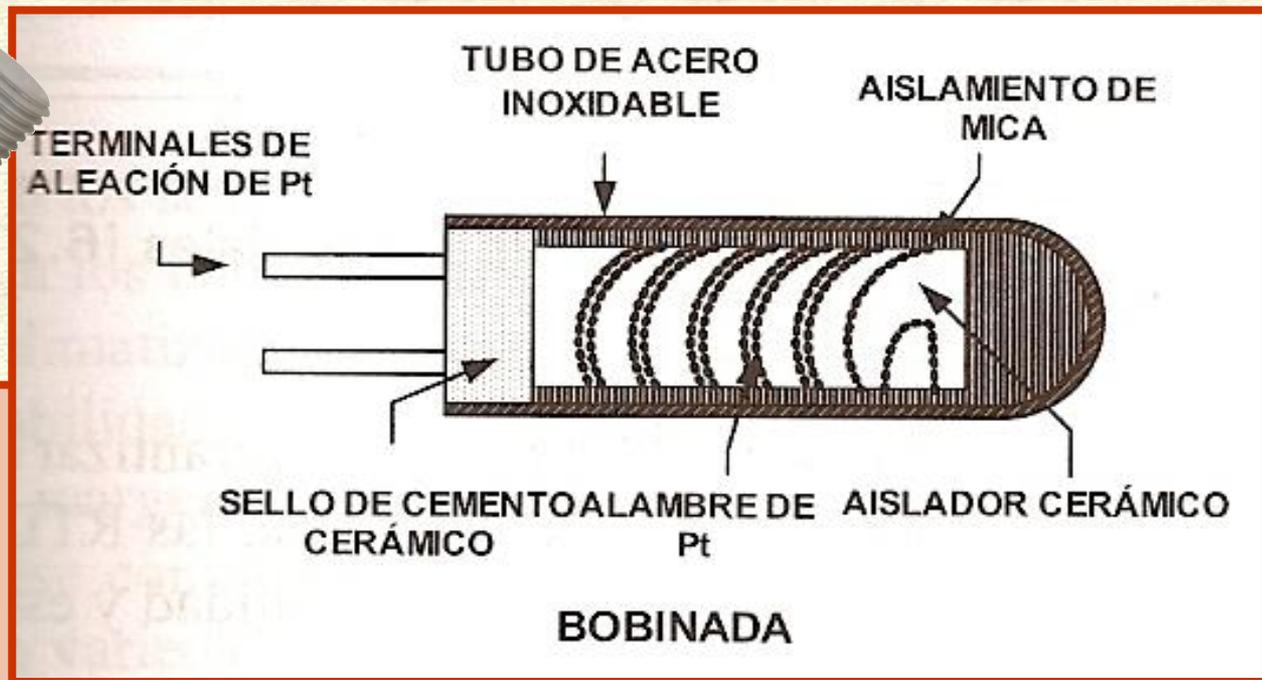
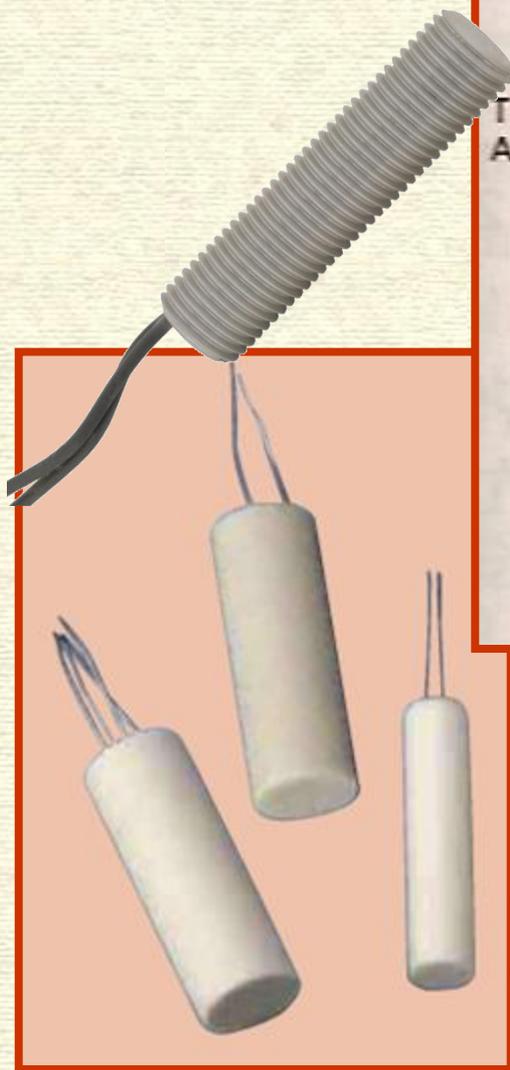
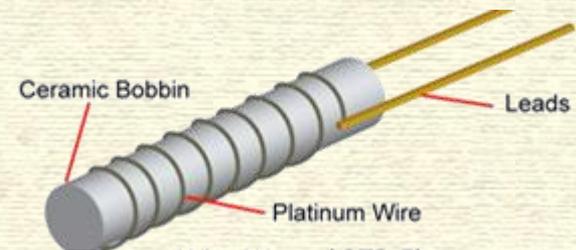
TERMORESISTENCIAS

Forma Constructiva



TERMORESISTENCIAS

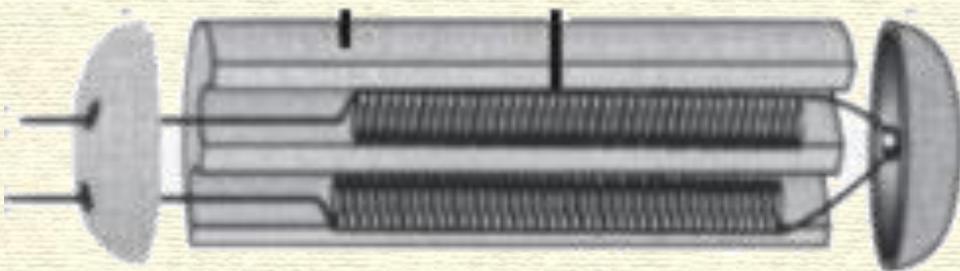
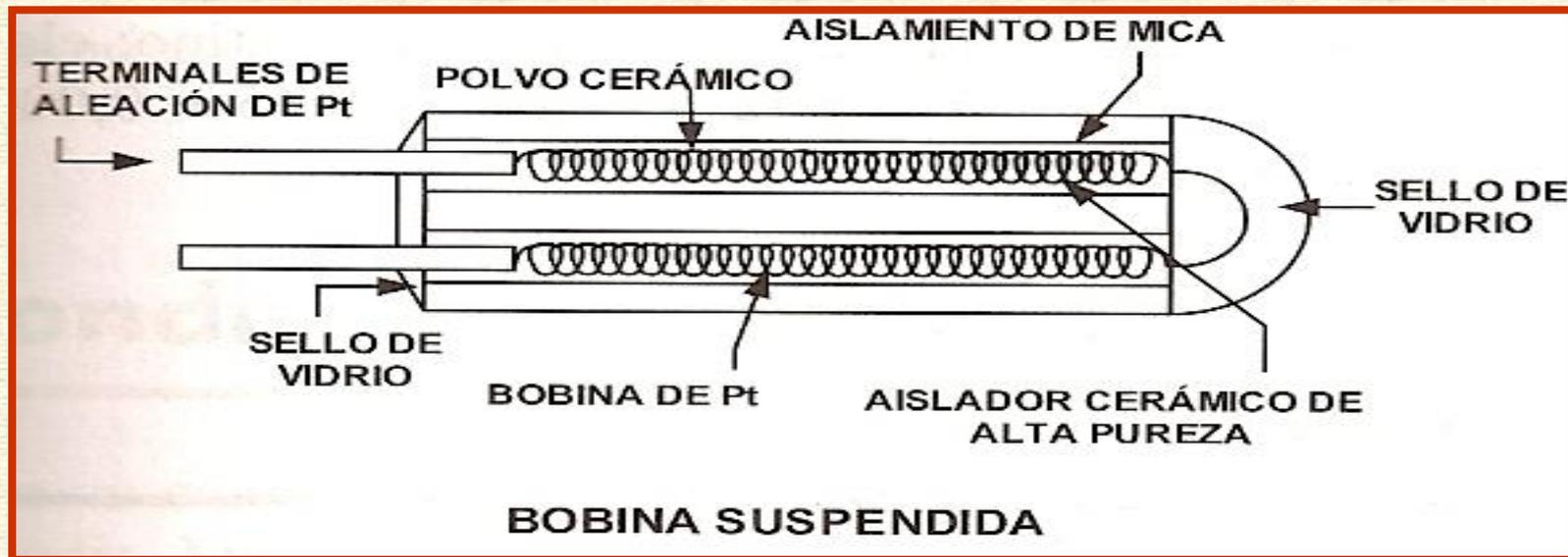
Forma Constructiva



Se construye en forma de espiral y recubiertos o encerrados en un cuerpo aislante de cerámica o vidrio que posee una relación de expansión vs. Temperatura muy similar a la del platino dentro del rango de trabajo

TERMORESISTENCIAS

Forma Constructiva



Se debe prestar especial cuidado para evitar tensiones que alteren la relación estándar de resistencia-temperatura

TERMORESISTENCIAS

Protección



Las termorresistencias de platino se pueden fabricar con una gran variedad de tubos de protección (**vaina**). Normalmente se usa acero inoxidable, aceros especiales o aleaciones, como el Inconel, Incoloy y Hastelloy.

Requerimientos:

- Permitir el mayor intercambio posible de temperatura entre la resistencia de platino y el medio.
- Soportar las vibraciones y golpes propios de la manipulación
- Compensación de las diferencias en el comportamiento térmico entre el soporte y la resistencia.



TERMORESISTENCIAS

Protección

El aspecto exterior de las termorresistencias industriales es prácticamente idéntico al de las termocuplas.

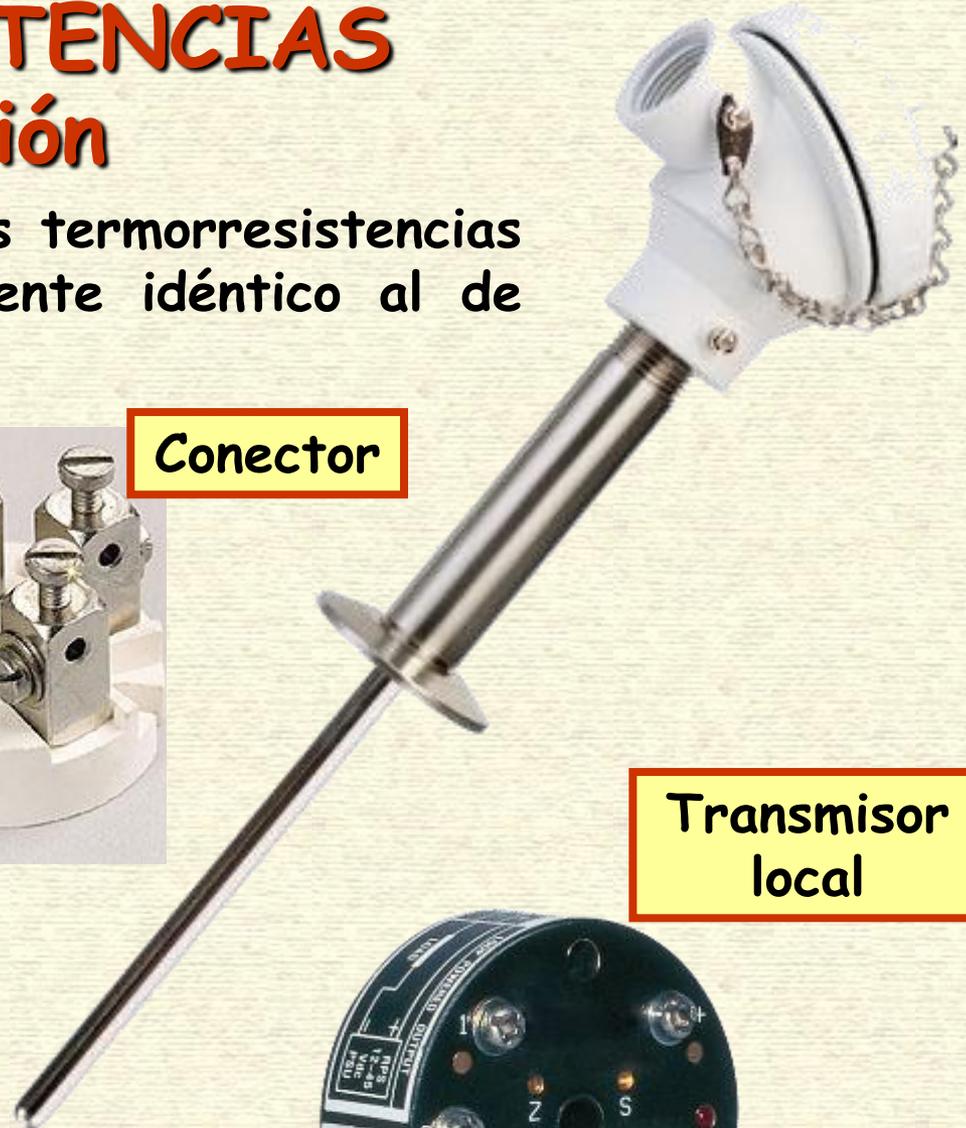
Cabezal



Conector



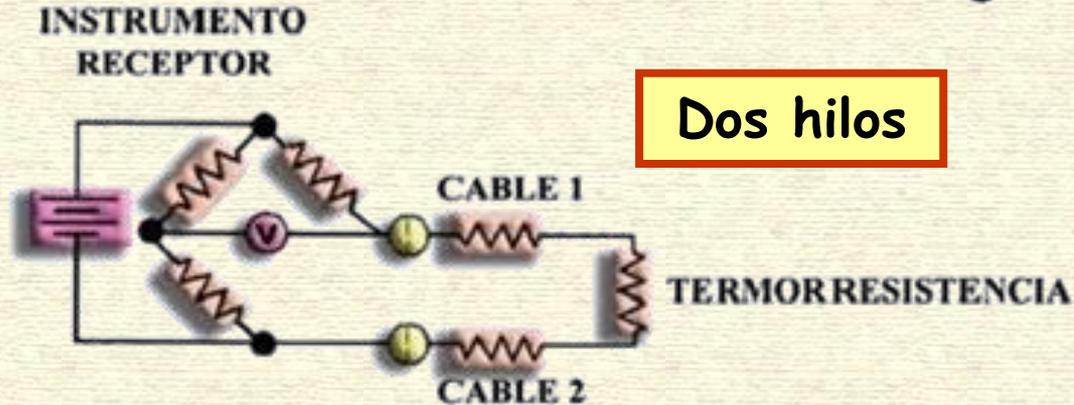
Transmisor local



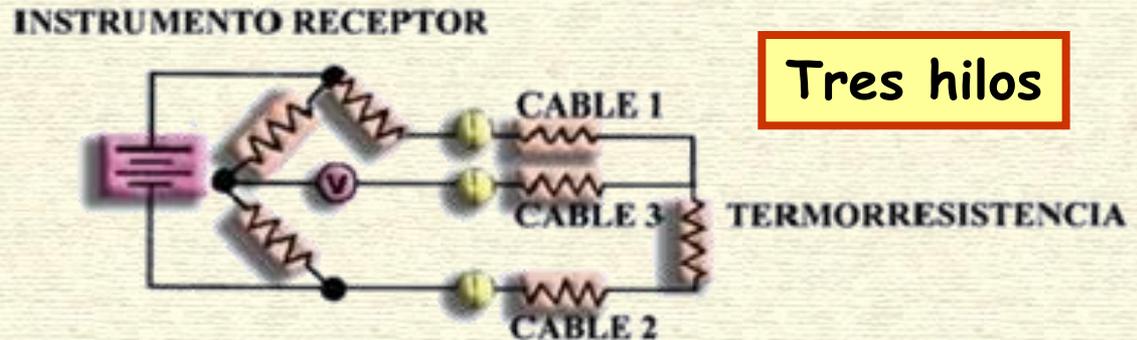
TERMORESISTENCIAS

Medición de Resistencia

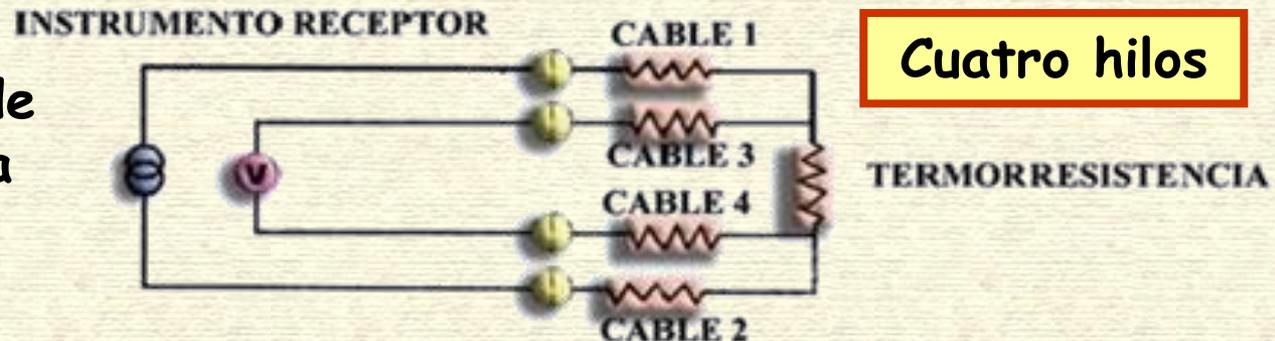
Dos hilos



Tres hilos



Cuatro hilos



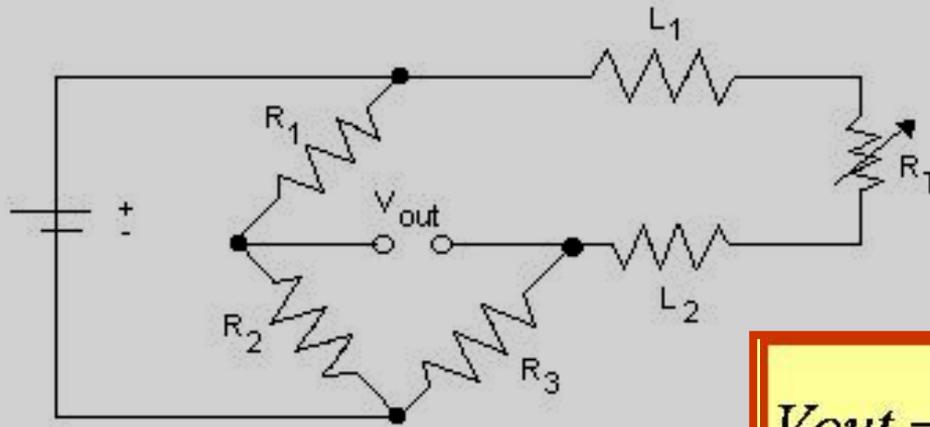
El proceso de medición de la resistencia del sensor está afectado por la resistencia de los hilos de conexión. Este efecto es función de la longitud de estos hilos.

Existen varias configuraciones para la medición de la resistencia para inferir la temperatura.

TERMORESISTENCIAS

Configuración con dos hilos

Es la configuración más elemental. En un puente de Wheatstone se conecta directamente la termoresistencia a través de dos cables que presentan resistencias L_1 y L_2 . La tensión de entrada es conocida y la variable de salida es la tensión de salida V_{out}



Si se desprecia la resistencia de los hilos, resulta:

$$V_{out} = \frac{V_0 R}{(R + R_T)(R + R_3)} (R_T - R_3)$$

Si $R = R_1 = R_2 \gg R_3$ entonces

$$V_{out} \cong \frac{V_0}{R} (R_T - R_3)$$

R_3 se emplea para fijar el cero del instrumento

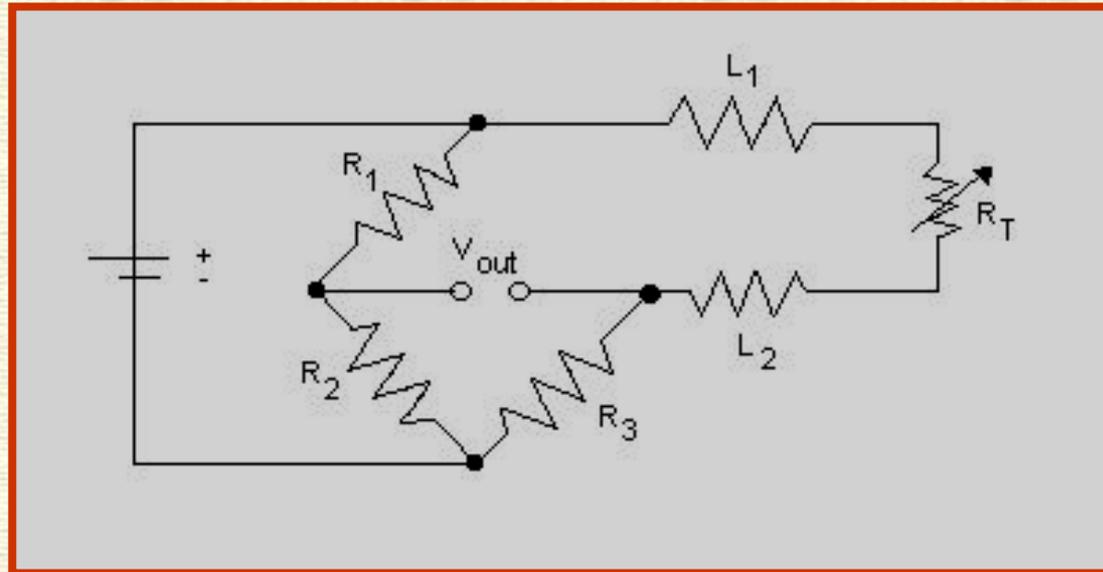
TERMORESISTENCIAS

Configuración con dos hilos

Si se considera la resistencia de los hilos entonces

$$V_{out} \cong \frac{V_0}{R} (R_T + L_1 + L_2 - R_3)$$

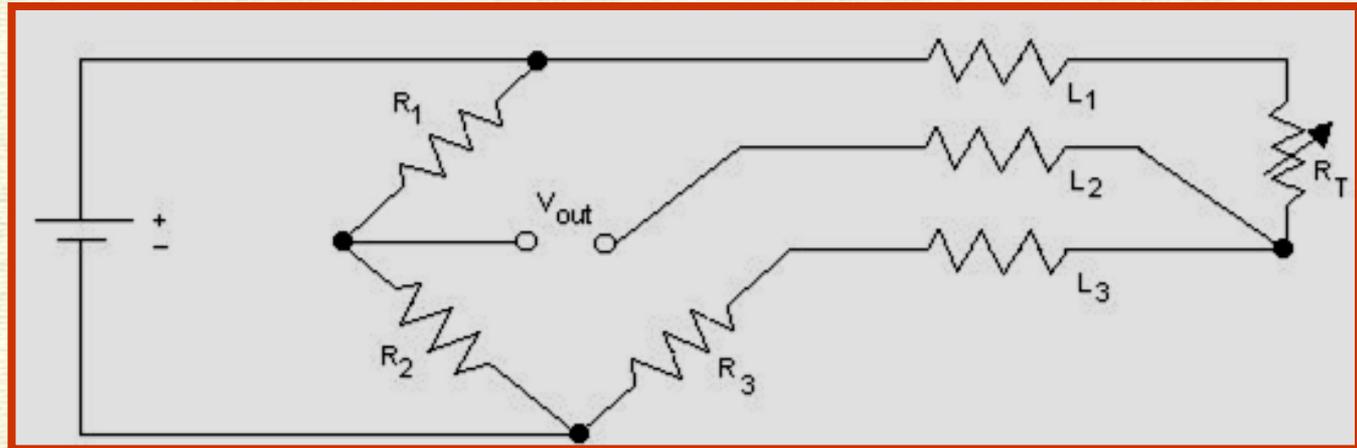
Se ve que esto altera la estimación de la termoresistencia y sólo se aplicaría para longitudes cortas de cables.



TERMORESISTENCIAS

Configuración con tres hilos

Una conexión de tres hilos sirve para considerar la resistencia del cable.



Los tres cables de conexión deben tener idéntica sección, longitud y material.

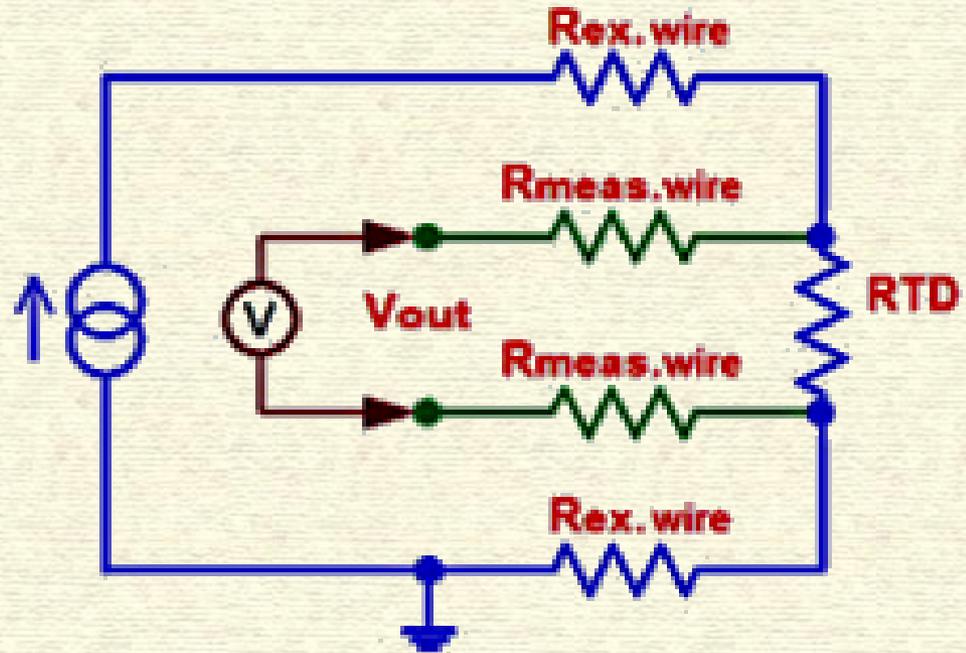
$$V_{out} \cong \frac{V_0}{R} (R_T + L_1 + L_2 - R_3 - L_2 - L_3)$$
$$\cong \frac{V_0}{R} (R_T - R_3)$$

TERMORESISTENCIAS

Configuración con cuatro hilos

La vía más efectiva para eliminar los efectos de los hilos conductores es con cualquiera de las versiones de **cuatro hilos**.

No se requiere puente como se indica en la figura siguiente. En este método, una corriente constante es conectada a dos de los hilos de la RTD, la caída de voltaje en la RTD es medida en los otros dos conductores. La caída de tensión es independiente de los efectos de los hilos conductores.



$$V_{out} = i R = f(R)$$



TERMORESISTENCIAS Autocalentamiento

El calentamiento por efecto Joule es un problema inherente a todo transductor resistivo. Aunque la cantidad de calor disipada suele ser pequeña, puede ser apreciable el aumento de temperatura respecto del medio cuya temperatura se está sensando.

$$Q = U A (T_R - T_A) = i^2 R_T$$

El coeficiente de disipación $U A$ para sensores industriales está normalmente entre 1 y 20 mW/°C.

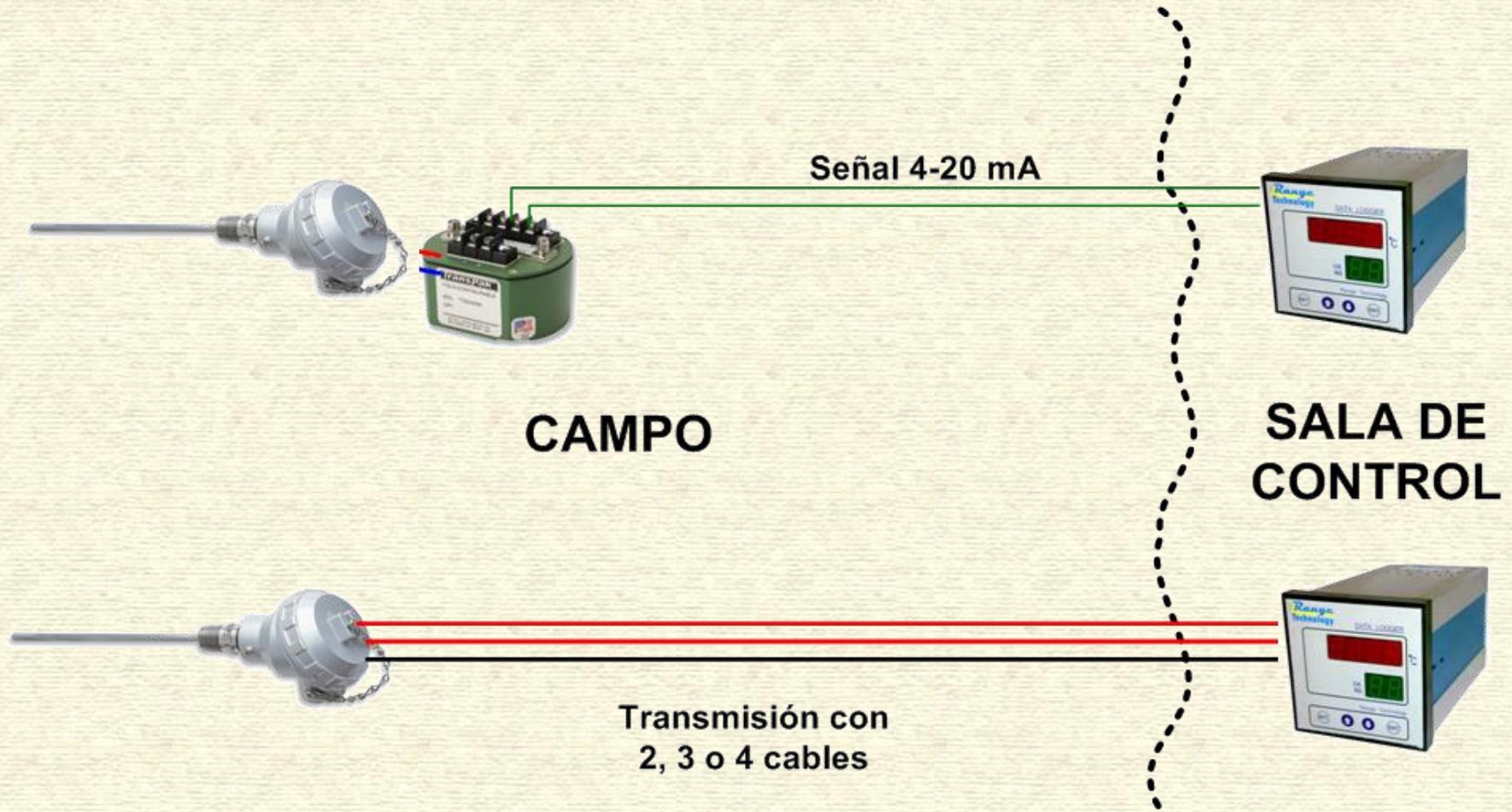
Ejemplo. Si se disipan 2,5 mW en una Pt-100 como consecuencia de una corriente de 5 mA, el error cometido resulta

$$\frac{100\Omega \cdot 0.005^2 \text{ A}^2}{1 \frac{\text{mW}}{^\circ\text{C}}} = 2.5^\circ\text{C}$$

TERMORESISTENCIAS

Transmisión de Señales

Curso: Instrumentación Industrial de Procesos
Departamento de Ingeniería de Procesos y gestión Industrial



TERMORESISTENCIAS Instalación



TERMOCUPLAS VERSUS TERMORRESISTENCIAS

Ventajas y Desventajas de la **RTD** en relación con la **Termocupla**

Ventajas RTD

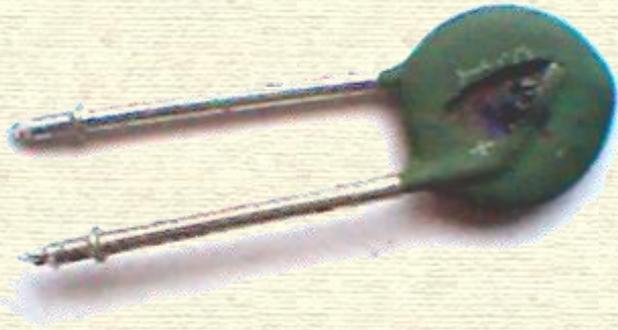
- Alta Precisión
- Mejor Linealidad
- Mejor Estabilidad
- No requiere compensación por junta fría
- No requieren hilos de extensión especiales



Desventajas RTD

- El límite de temperatura máxima es más bajo
- El tiempo de respuesta sin termovaina es más alto
- Pueden requerir configuraciones tri y tetrafilares

Las termocuplas son los sensores de temperatura más ampliamente utilizados a nivel industrial. Sin embargo, hay numerosos profesionales que consideran que las termocuplas se caracterizan por ser simples, baratas y "miserables" debido a la facilidad con que las salidas pueden resultar erróneas.



TERMISTORES

Los **termistores** son dispositivos semiconductores cuya resistencia cambia con la temperatura.

Estos dispositivos presentan grandes coeficientes de temperatura negativos (**NTC**), es decir, que su resistencia disminuye cuando la temperatura aumenta. Los materiales con que se fabrican pueden ser mezclas sintetizadas de sulfatos, selenio, óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio, uranio, y otros metales.

Existen también termistores con coeficiente térmico positivo (**PTC**) fabricados de bario sintetizado y mezclas de estroncio y titanio, pero son menos sensibles y más caros.

TERMISTORES

La ecuación que domina el cambio de resistencia de un termistor respecto a la temperatura está dada por:

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

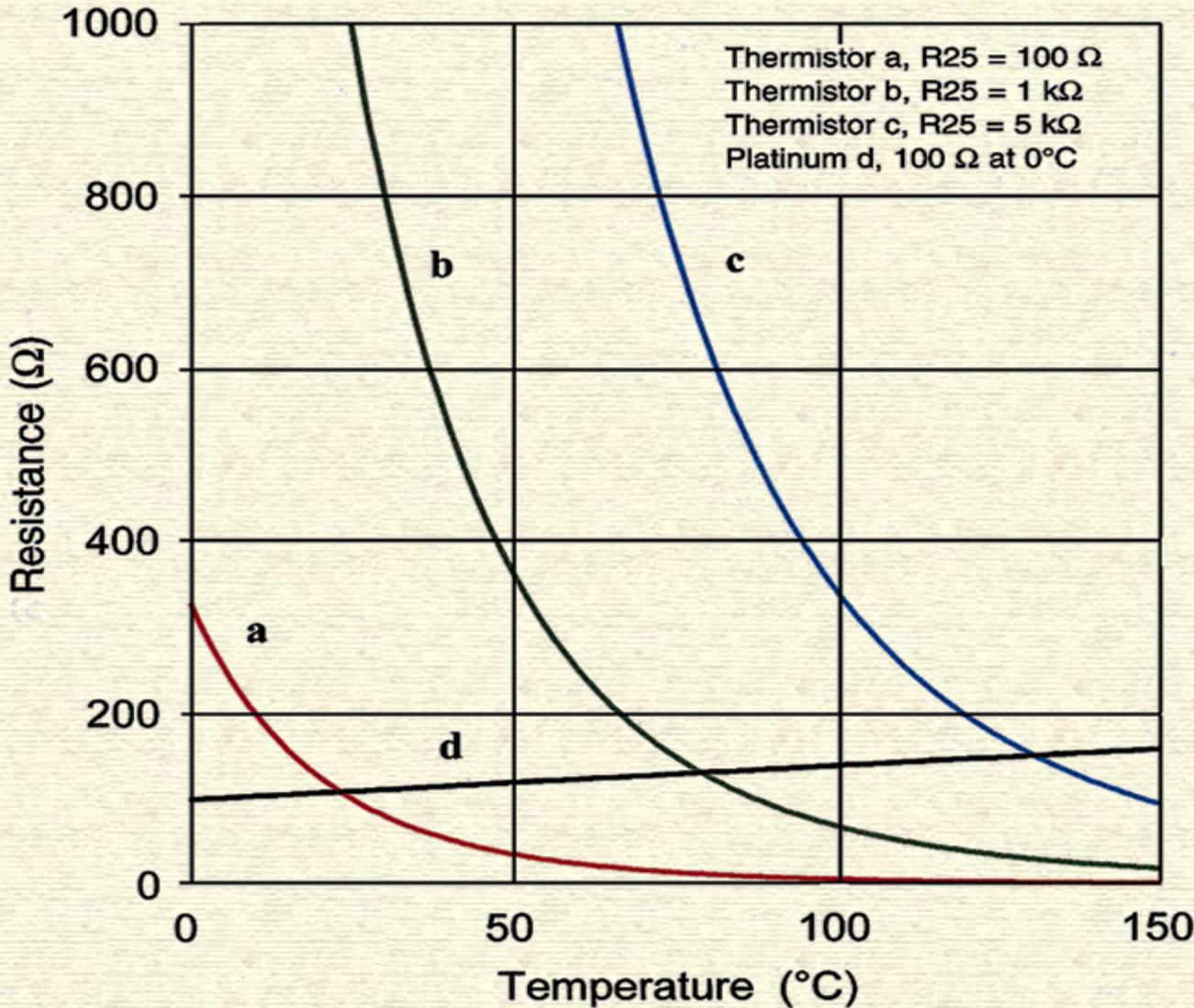
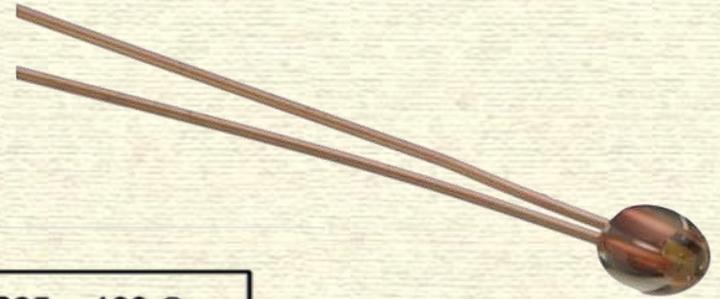
El coeficiente beta usualmente está entre -3500 y -4600 K.

Por tratarse de material semiconductor, los termistores tienen un rango limitado que va de -20 °C a 150 °C, y como se puede apreciar en la ecuación anterior, su respuesta es no lineal por el término exponencial.

Estos dispositivos que presentan el fenómeno de envejecimiento (derivas altas).



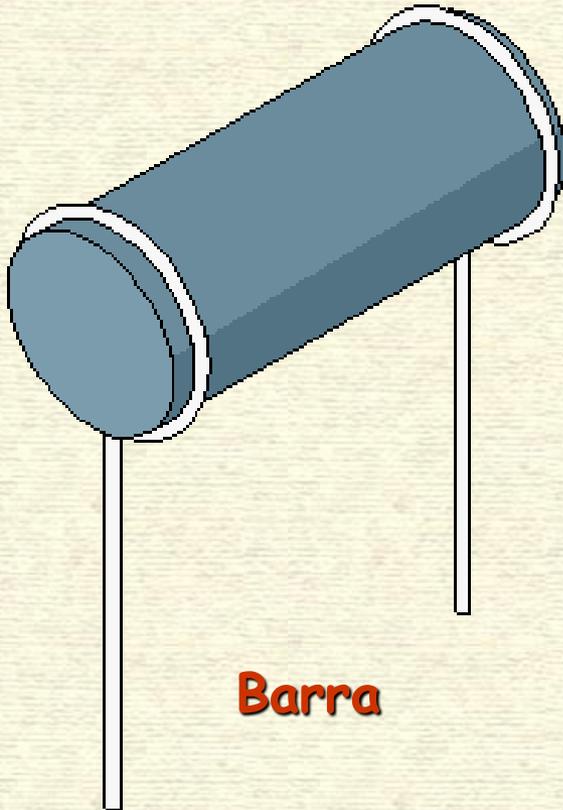
TERMISTORES



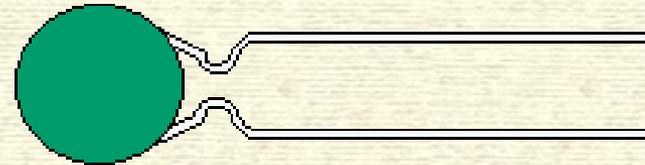
Comparación
de resistencia
de
termistores
NPT
vs Pt-100

TERMISTORES

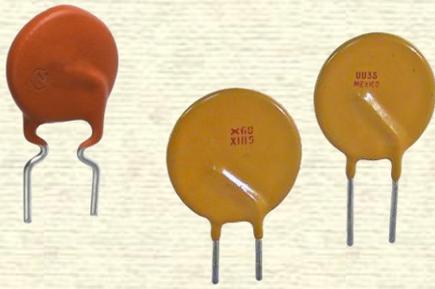
Los encapsulados de los termistores requieren de materiales que conduzcan muy bien la temperatura como son: vidrios, resinas epóxicas, etc.. Dentro de los tipos de encapsulados se puede encontrar las siguientes formas:



Gota de vidrio

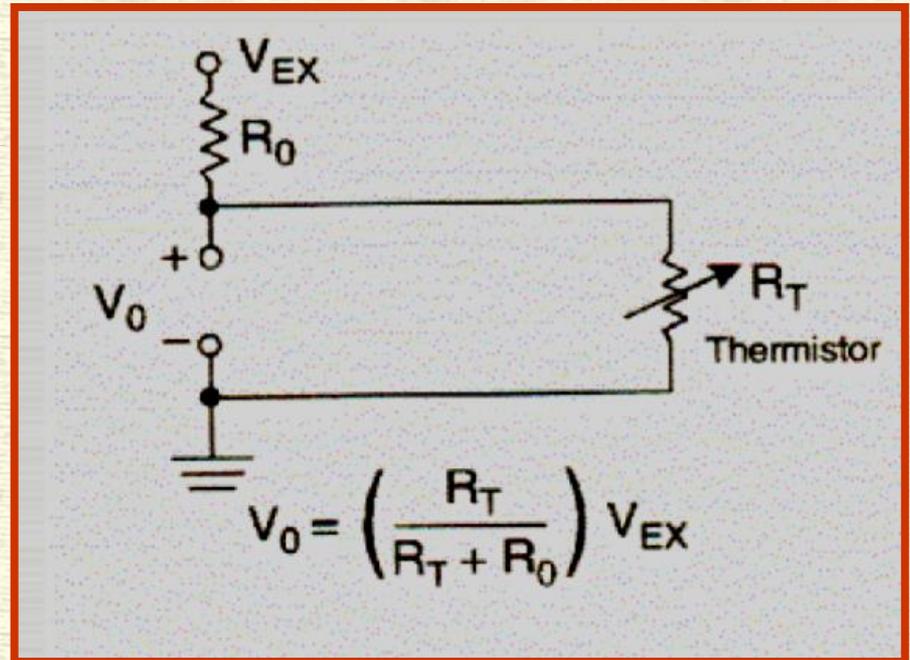
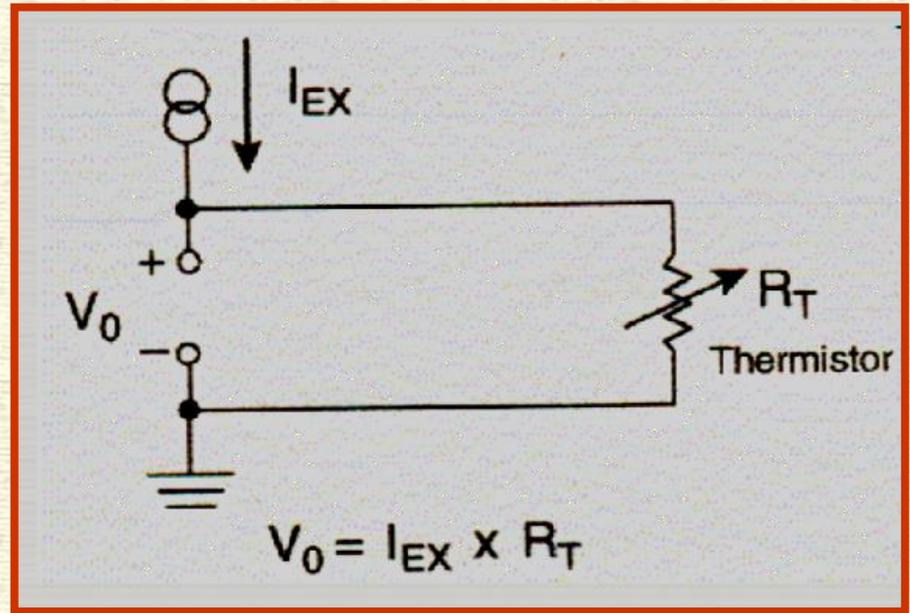
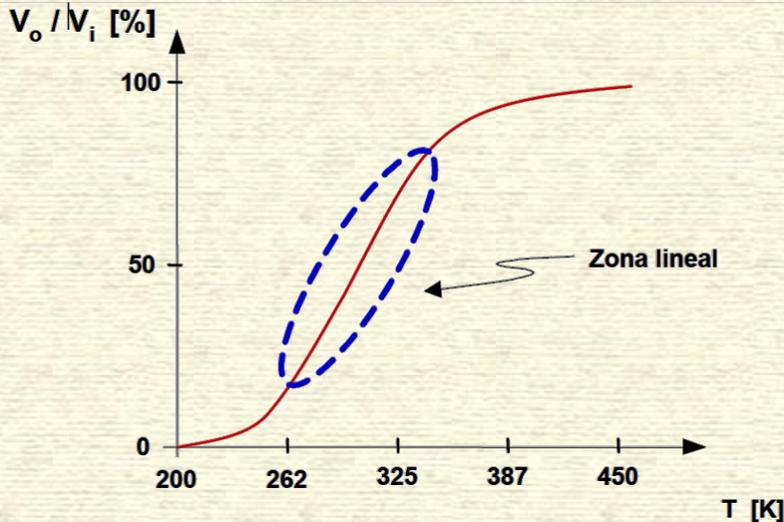


Disco



TERMISTORES Circuitos

Los circuitos que se emplean, tienden a generar salidas lineales



COMPARACIÓN ENTRE ELEMENTOS ELÉCTRICOS

	Acondicionamiento de señal requerido	Precisión	Sensibilidad	Comparación
Termopar 	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificación • Filtrado • Unión fría. Compensación 	Buena	Razonable	<ul style="list-style-type: none"> • Activo: genera señal • Baratos • Robustos • Muy amplio rango de temperatura. • Relativamente lineales
RTD 	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificación • Filtrado • Excitación en tensión o corriente 	La mejor	Mejor	<ul style="list-style-type: none"> • Pasivas • Muy precisas • Muy estables • Muy lineales • Caras
Termistor 	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificación • Filtrado • Excitación en tensión o corriente 	Mejor	La mejor	<ul style="list-style-type: none"> • Pasivos • Alta resistencia • Pequeña masa térmica • Casi sin coste

TERMÓMETROS DE VIDRIO

Constan de un bulbo que contiene un fluido que al calentarse se expande a través de un tubo capilar.

El ejemplo más conocido es el de mercurio líquido.



Enchufe roscado
4 DIN 16192

Almohadilla 5 DIN 16192

Almohadilla 6 DIN 16192

Sección externa

Capillaridad

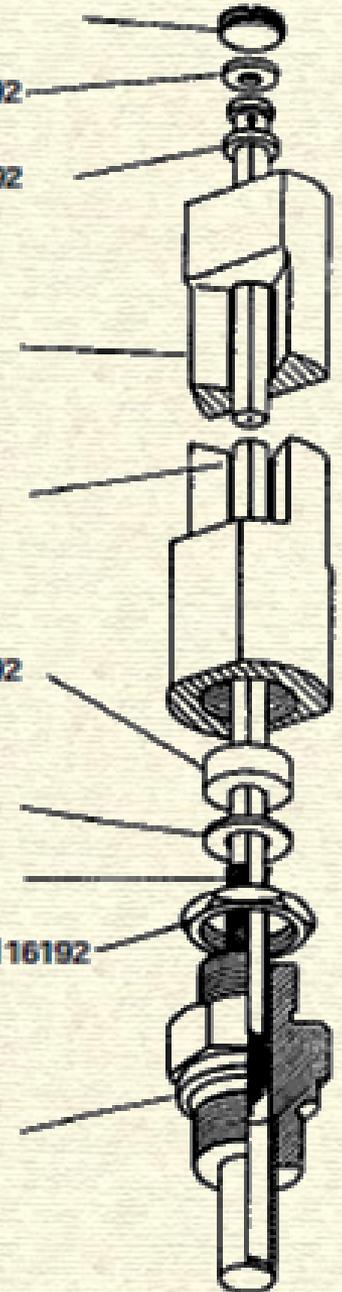
Almohadilla 7 DIN 16192

Arandela 8 DIN 16192

Cubierta textil no.10

Tuerca de fijación 9 DIN 16192

Conexión de montaje

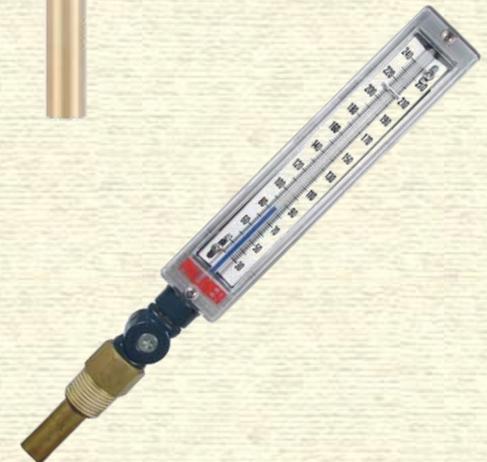


TERMÓMETROS DE VIDRIO

Se utilizan otros líquidos Aparte del mercurio, según las temperaturas que se deben medir.

Fluido	Valor mínimo °C	Valor máximo °C
Mercurio líquido	-35	280
Mercurio, tubo capilar con gas	-35	450
Pentano	-200	20
Alcohol	-110	50
Tolueno	-70	100

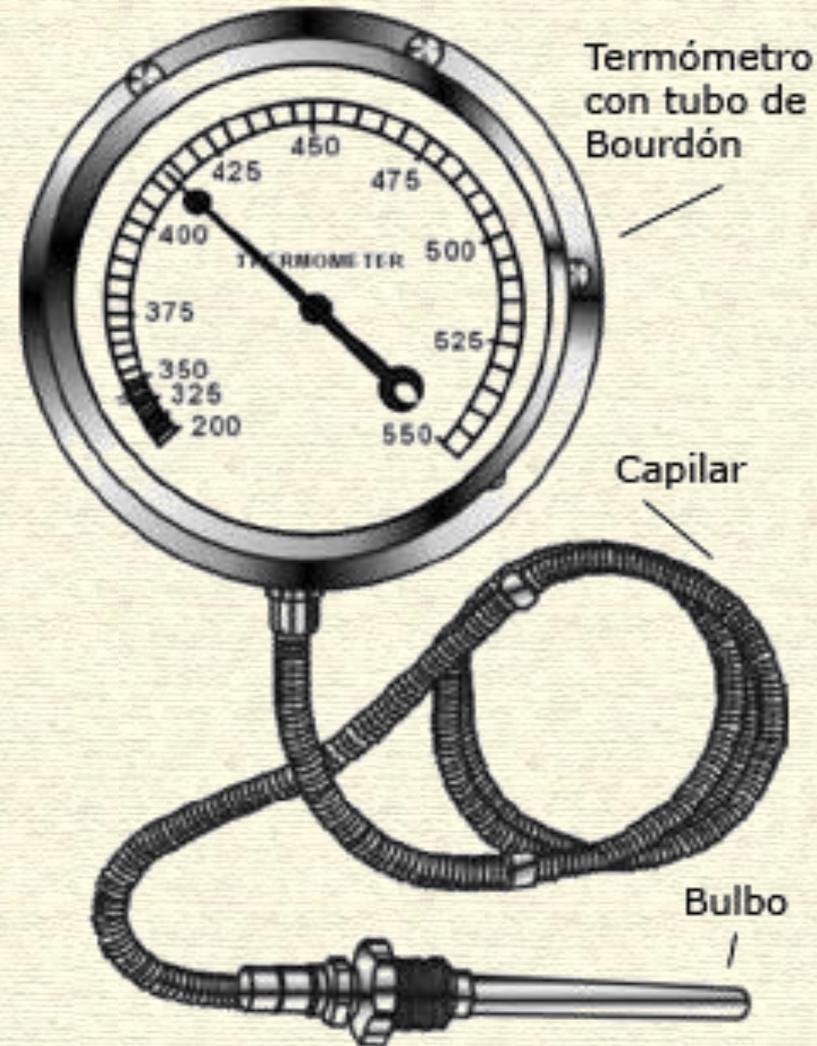
Con estos termómetros solo se puede tener **indicación local** de la variable.



SISTEMAS TÉRMICOS LLENOS (de bulbo y capilar)

Un **sistema lleno** detecta la temperatura a través de una **variación de volumen o presión de un fluido** que acompaña a una variación de temperatura.

El acondicionamiento de la señal de presión generada a través de la dilatación del líquido o el aumento de presión del gas o vapor, se realiza a través de tubos de Bourdon. Éstos se desenrollan y mueven la aguja indicadora sobre el dial (o pantalla de sistema neumático)

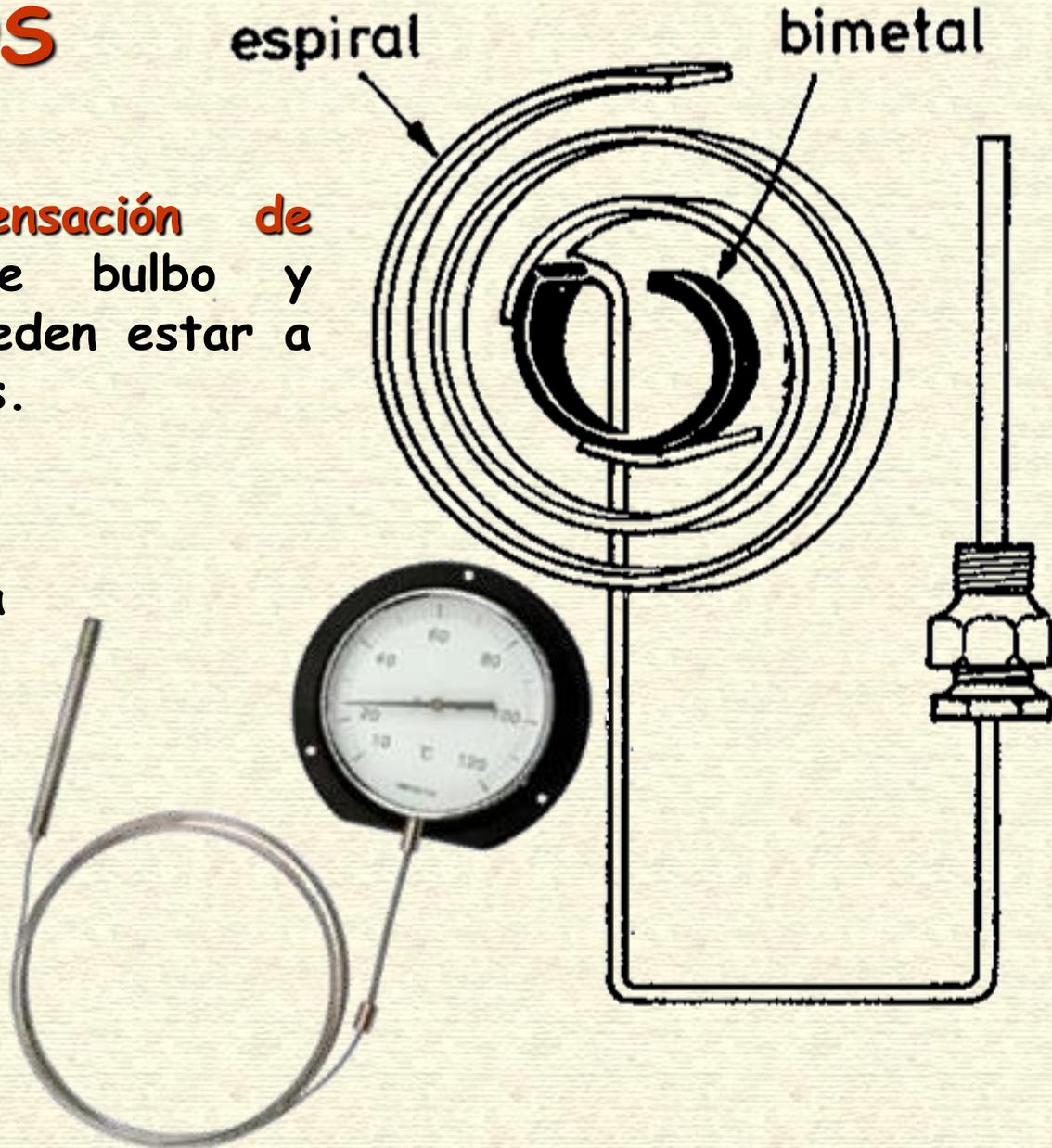


Termómetro de lectura a distancia

SISTEMAS TÉRMICOS LLENOS

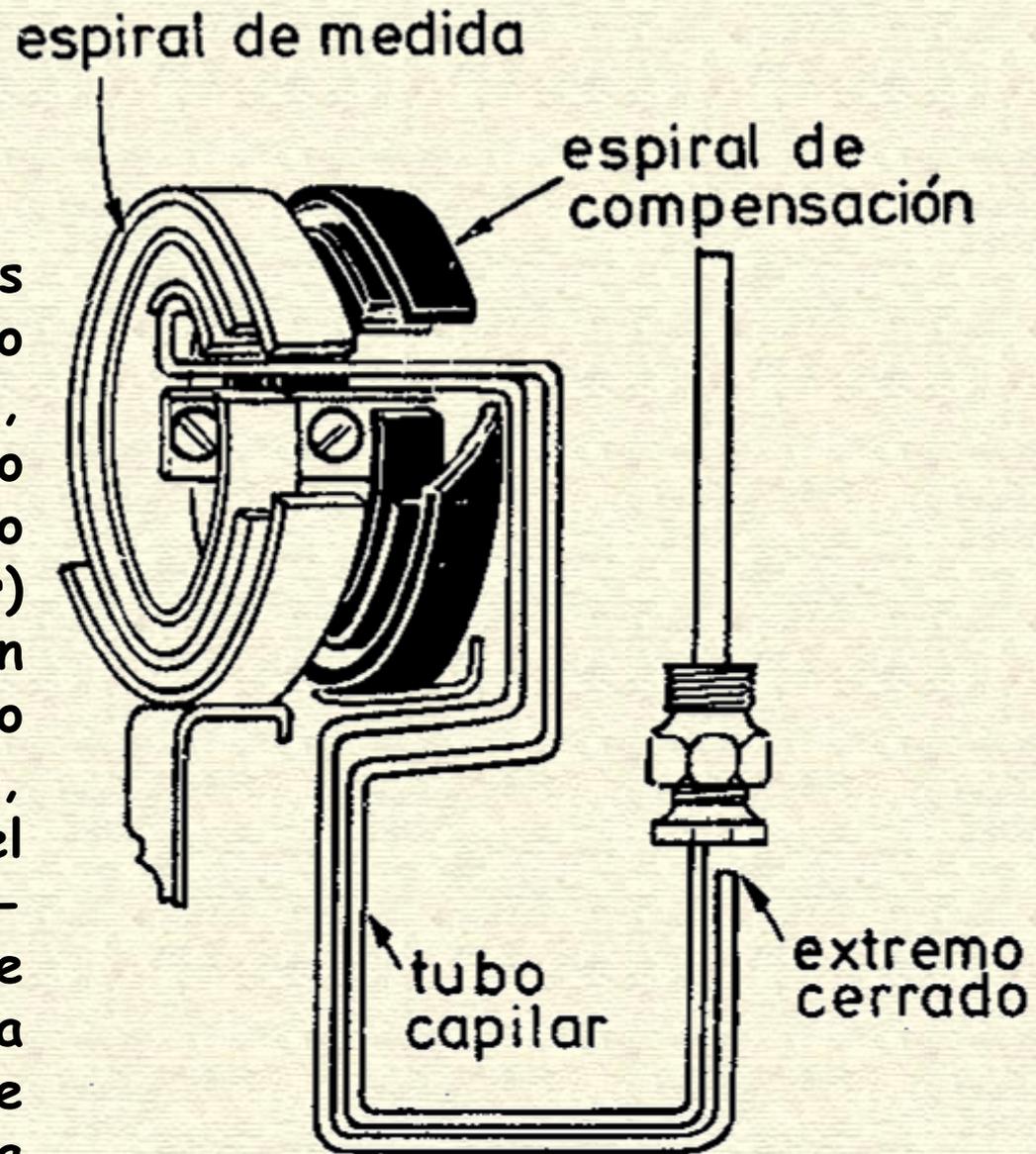
Se requiere **compensación de temperatura** ya que bulbo y elemento receptor pueden estar a distintas temperaturas.

Con capilares de longitudes menores a 5 metros se compensa sólo el elemento de medición, por medio de un bimetetal se compensa la variación de temperatura del liquido por efecto del medio ambiente.



SISTEMAS TÉRMICOS LLENOS

Cuando el tubo capilar es largo, se usa un segundo tubo capilar sin bulbo, cerrado en el extremo correspondiente al bulbo (paralelo al tubo capilar) desde el bulbo y acciona un Bourdon helicoidal idéntico en la caja del instrumento, de tal modo enlazado con el elemento original, que cualquier dilatación en este capilar corrector se resta del otro sistema y corrige toda dilatación, excepto la del bulbo medidor.



SISTEMAS TÉRMICOS LLENOS

Tipos de dispositivos clasificados por SAMA



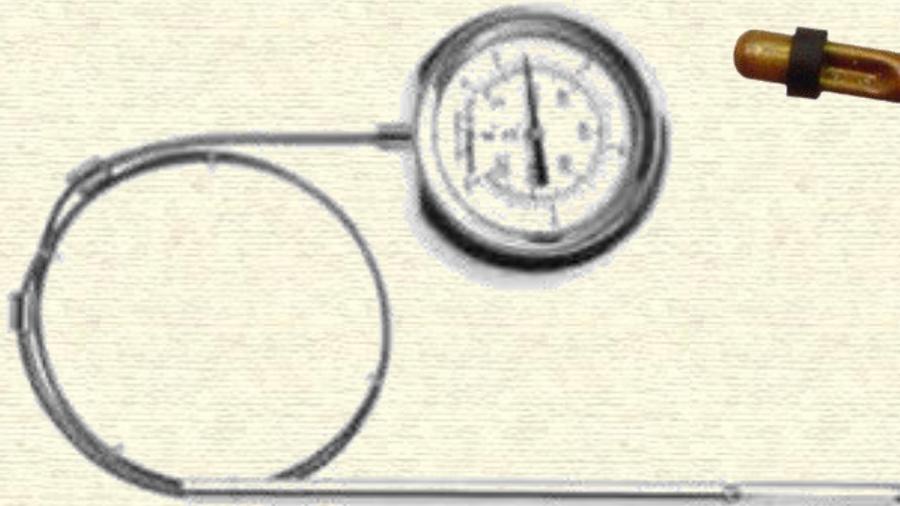
Clase SAMA .	I	II	III	V
Fluido	Líquido	Vapor	Gas	Mercurio
Principio de funcionamiento	Variación de volumen	Variación de presión	Variación de presión	Variación de presión
Rango de temperaturas	-30 a 315°C	-45 a 315°C	-195 a 315°C	-35 a 650°C
Exactitud, % del alcance	±0,5% 215°C ±0,75 215°C	±0,5 en los 2/3 del alcance superiores	±0,5% 330°C ±0,75% 330°C	±0,5 500°C ±0,75 500°C
Alcances de temperatura más cortos y más largos	25°C 330°C	40°C 215°C	65°C 550°C	30°C 665°C
Respuesta: 1= la más rápida 7= la más lenta	7	IIA=1 IIB=3 IIC=4 IID=5	2	6
Capacidad de sobrerango	Media	La menor	La mayor	Media
Linealidad de escala máxima	Lineal	Alineal	Lineal	Lineal
Longitud de capilar estándar, en m	IA =30 IB =6	45	30	VA:30 VB:15
Tamaño típico de sensor para un alcance de 110°C, D. E. x longitud, en mm	El menor 10 x 50	Entre Clase I y Clase V 10 x 50	El mayor 15 x 200	Entre Clase II y Clase III 10 x 100

A Con plena compensación
B Con compensación parcial

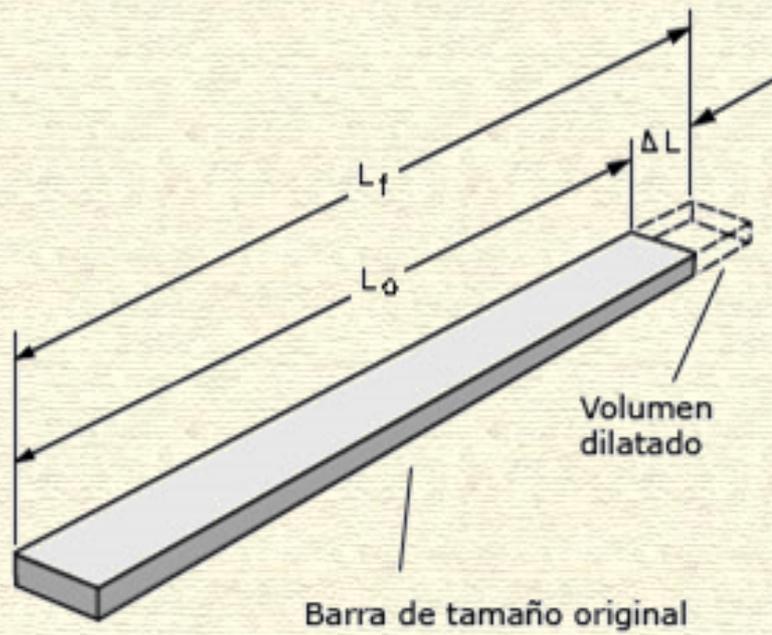
SISTEMAS TÉRMICOS LLENOS

Estos dispositivos están siendo desplazados como elementos industriales de medición.

Se los emplea para indicación, como interruptor y también como transmisores (usualmente neumáticos)



BIMETÁLICOS



Este termómetro consiste en una cinta hecha de **dos metales (o aleaciones) de coeficientes de dilatación térmica muy diferente**, tales como el Invar y el latón, soldados cara con cara en toda su longitud.

Una elevación de temperatura cambia la curvatura de la cinta.

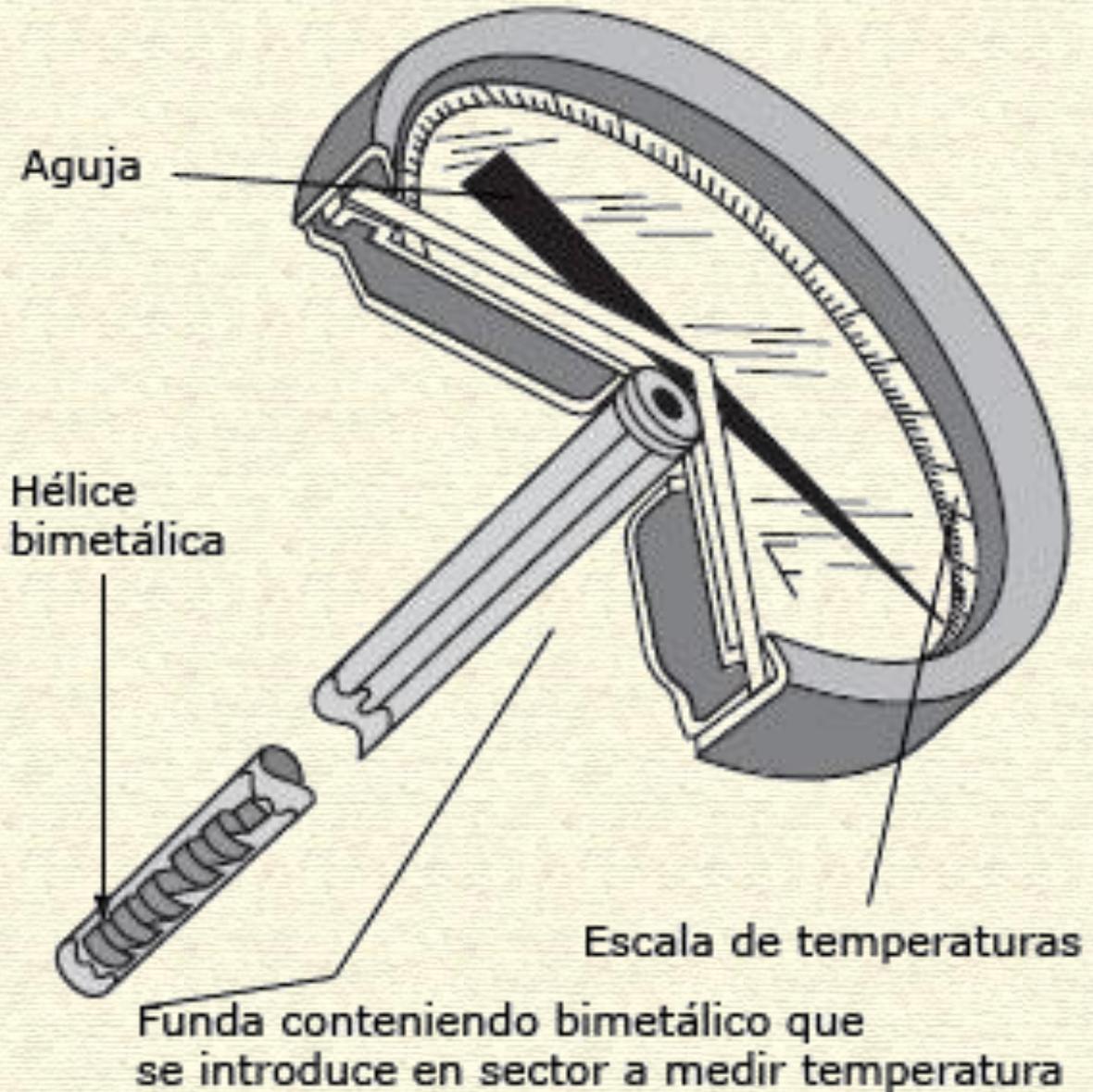
Las cintas bimetalicas se emplean para actuar sobre contactos eléctricos, o para indicación.

BIMETÁLICOS

Son muy adecuados para **indicación local**. La aguja va directamente vinculada al bimetálico en forma Mecánica.

Los bujes permiten un giro con bajo nivel de rozamiento.

Los valores de incertidumbre de estos instrumentos no son bajos (alrededor del 1% del span)



BIMETÁLICOS

Los indicadores locales tiene gran versatilidad para ser montados en campo.



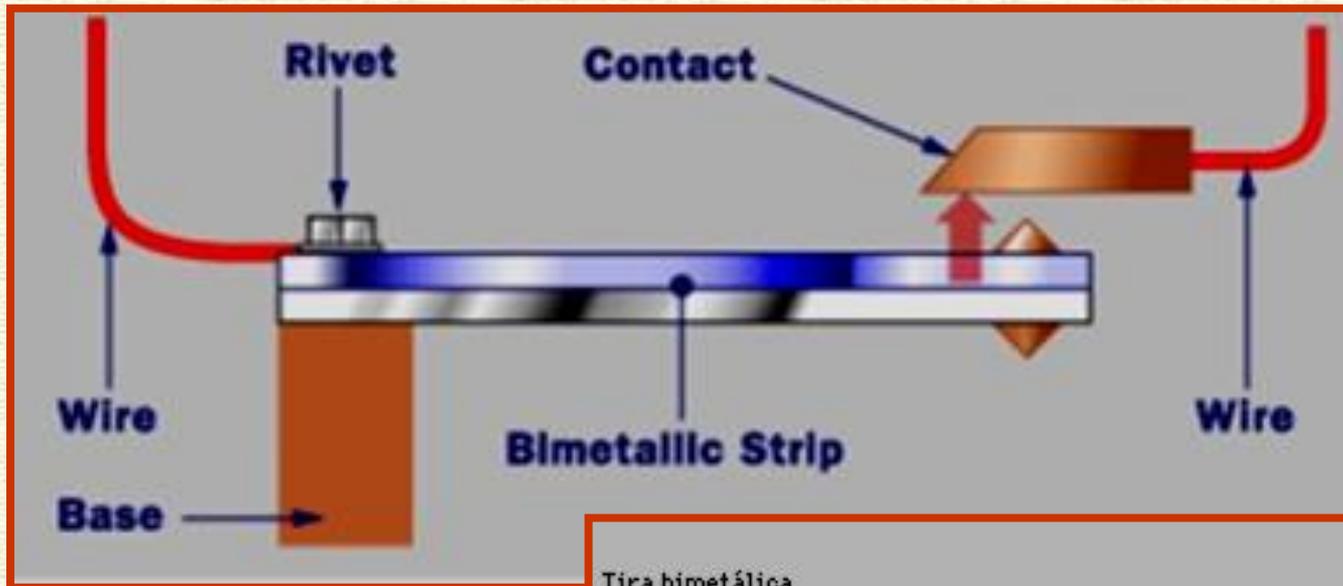
Conexión posterior



Conexión inferior

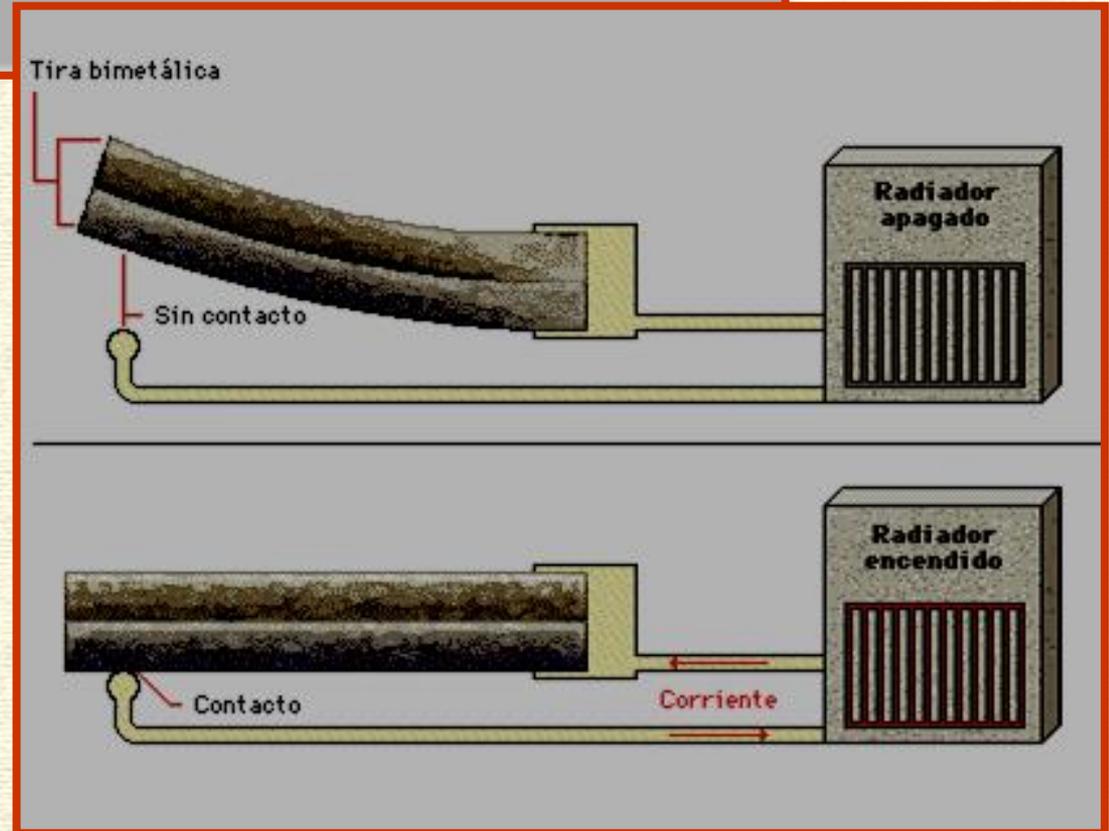


Conexión en ángulo variable



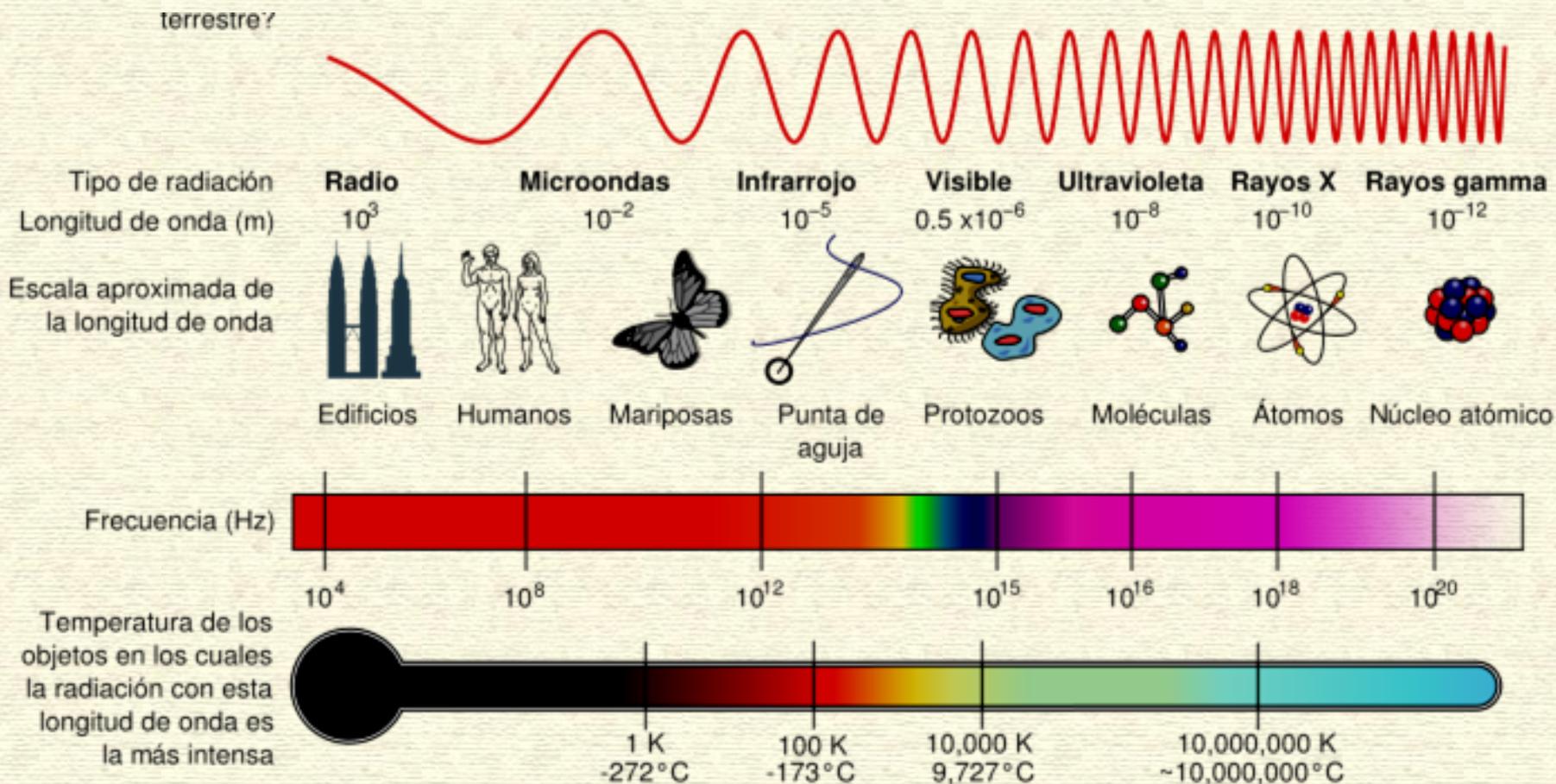
Se usan
extensamente
para
interruptores

BIMETÁLICOS



PIRÓMETROS - Radiación

Todo cuerpo emite radiación electromagnética en todas las longitudes de onda. La radiación electromagnética es clasificada en "**bandas**", de acuerdo a su longitud de onda.



PIRÓMETROS - Radiación

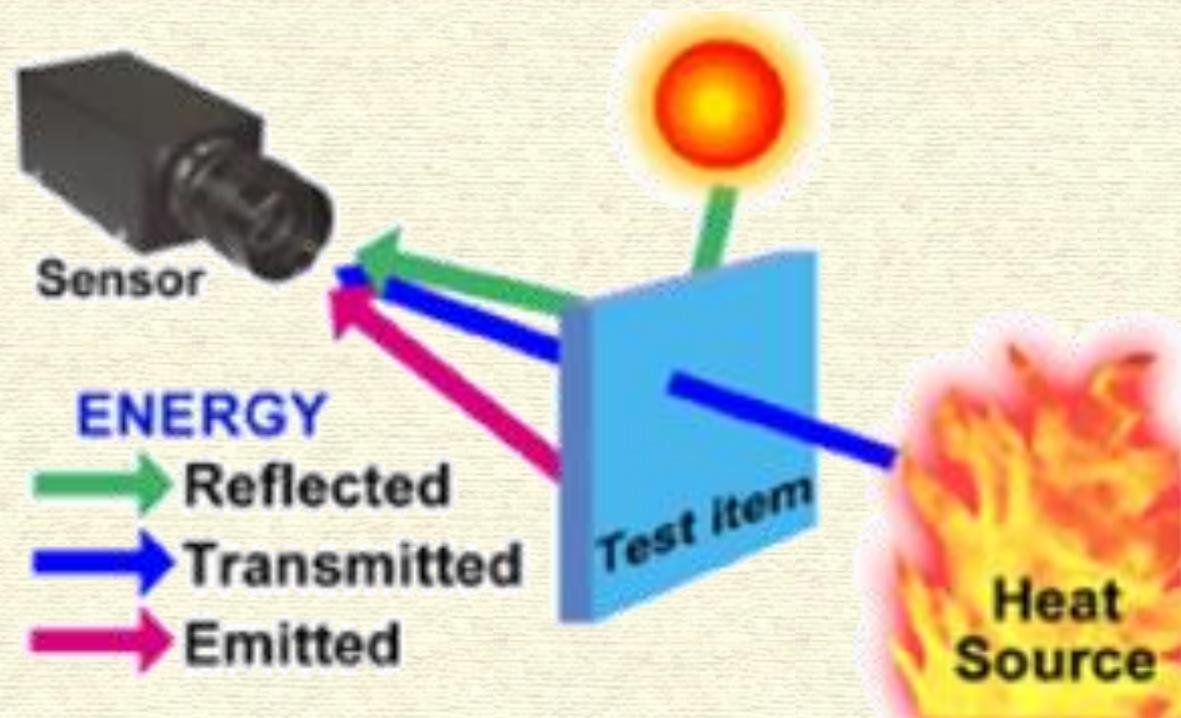
Ley de Kirchhoff

Cuando un cuerpo está en equilibrio térmico la cantidad de energía que **absorbe es igual a la que emite.**

Balance de Energía

En el equilibrio la energía que absorbe es igual a la que entrega.

La **energía incidente** es igual a la suma de la energía que se refleja, más la que se absorbe más la que se transmite.



PIRÓMETROS - Radiación

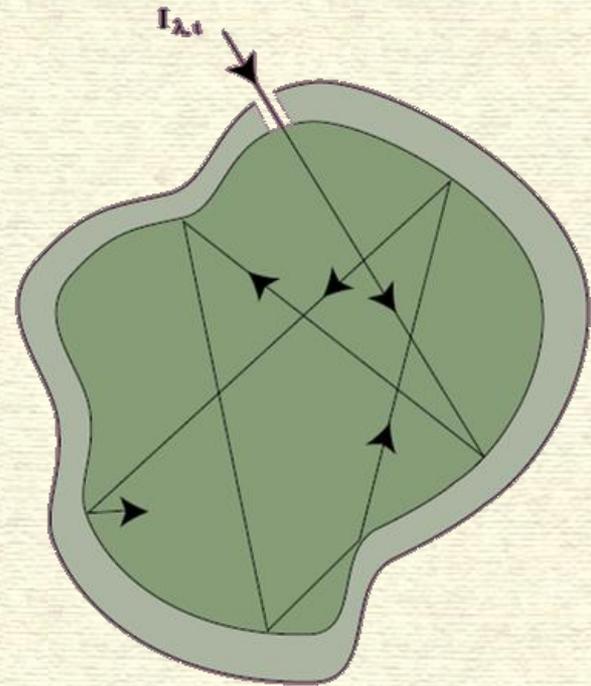
Cuerpo Opaco

El cuerpo opaco no transmite nada, pues la radiación no lo atraviesa. Un vidrio común es opaco al infrarrojo. El coeficiente de emisión es igual al de absorción

Cuerpo Negro

Cuerpo negro es un cuerpo ideal que absorbe toda la energía radiante que le llega. No refleja nada de la energía que le llega.

No transmite nada de la energía que le llega. Emite energía y en el equilibrio será iguala la que le llega.



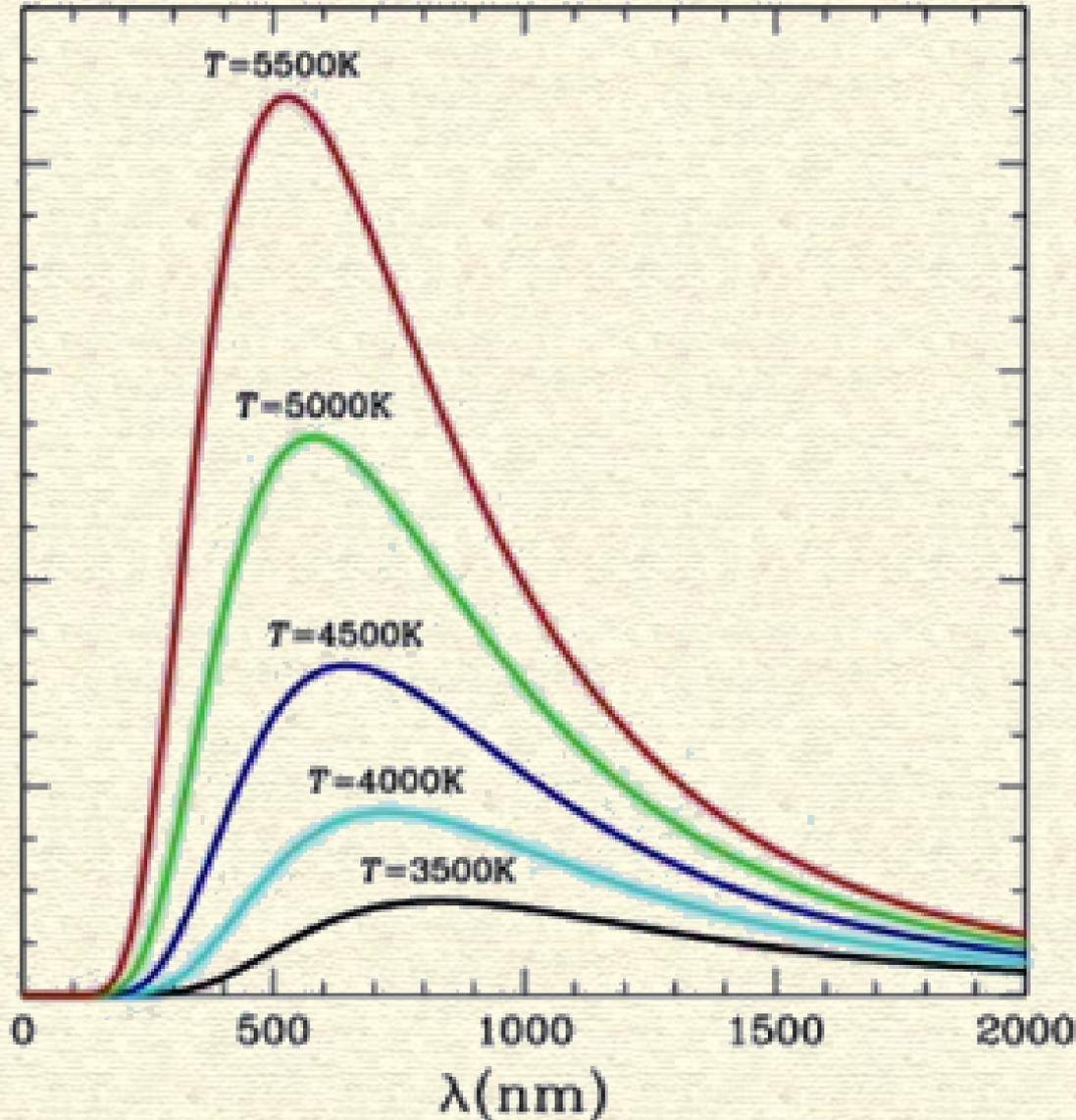
PIRÓMETROS - Ley de Plank

La Densidad de Flujo Radiado W (potencia por unidad de área y por unidad de longitud de onda) se vincula con la longitud de onda λ y con la emisividad ε del objeto con la expresión

$$W_{\lambda} = \frac{\varepsilon(\lambda)C_1}{\pi\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)}$$

$$C_1 = 3.74 \times 10^{-12} \text{ Wcm}^2$$

$$C_2 = 1.44 \text{ cmK}$$



PIRÓMETROS - Ley de Wien

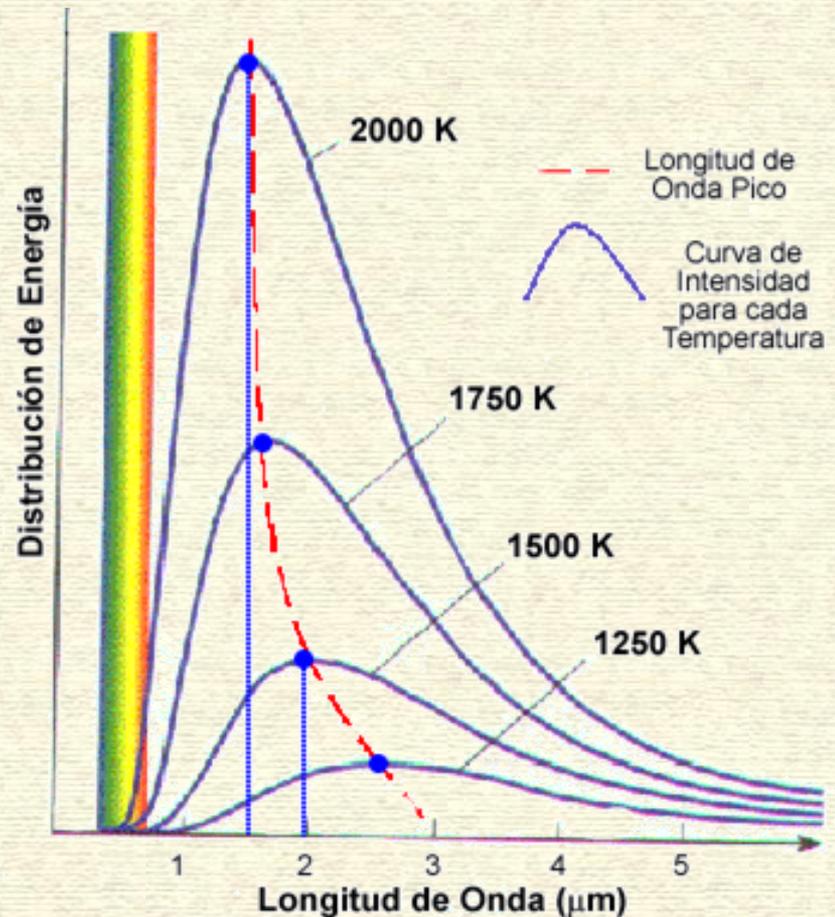
La **ley de Wien** describe el valor máximo de la curva de densidad de energía irradiada y muestra que este valor máximo varía en frecuencia e intensidad en función de la temperatura.

La longitud de onda correspondiente al máximo viene dado por:

$$\lambda_m = \frac{2898}{T}$$

Con la **Ley de desplazamiento de Wien** se puede evaluar en que longitudes de onda es conveniente hacer las mediciones

$$W_\lambda = \frac{C_1}{\pi} \varepsilon(\lambda) \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}$$



PIRÓMETROS

Ley de Stefan-Boltzmann

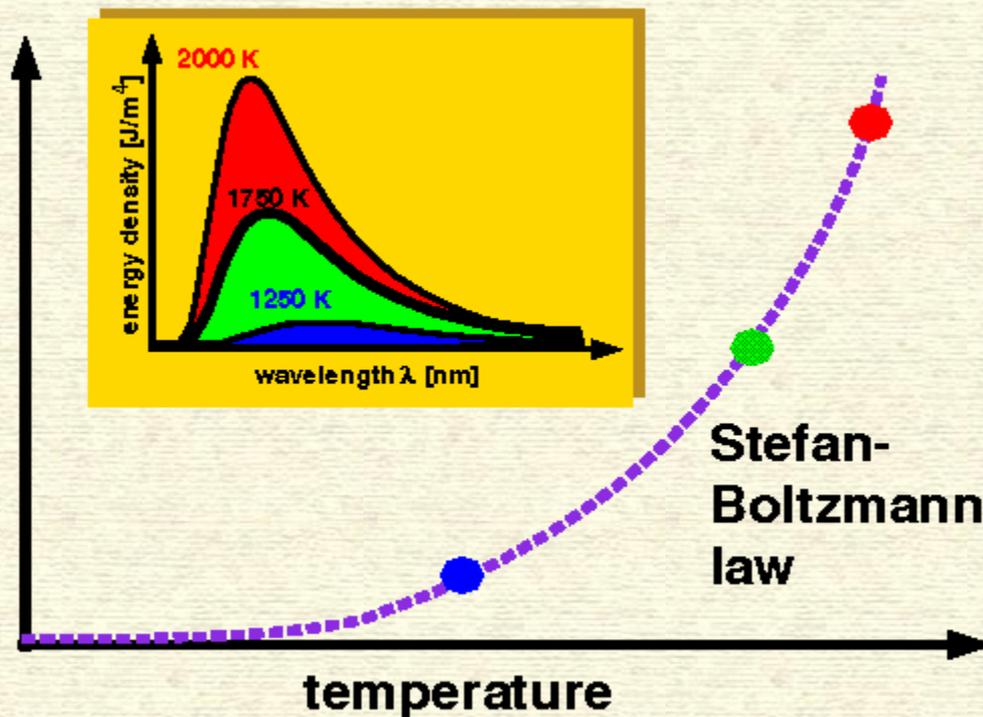
Relaciona la potencia total (en todas las longitudes de onda) por unidad de área emitida por un cuerpo y su temperatura. Resulta de integrar la ecuación de Plank:

$$E_b = \int_0^{\infty} \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} d\lambda$$

El resultado es una expresión sencilla y es el **fundamento de la medición**:

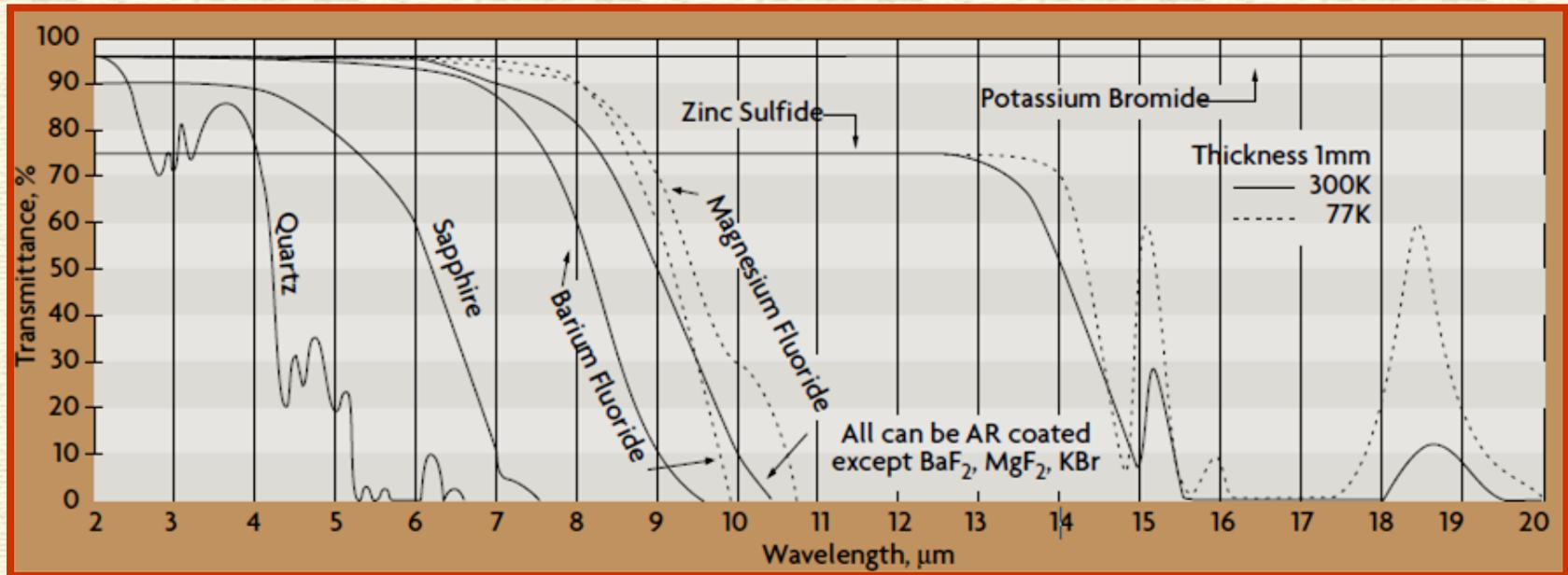
$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_e^4$$

ϵ es una propiedad de la superficie denominada **emisividad**



PIRÓMETROS - Emisividad

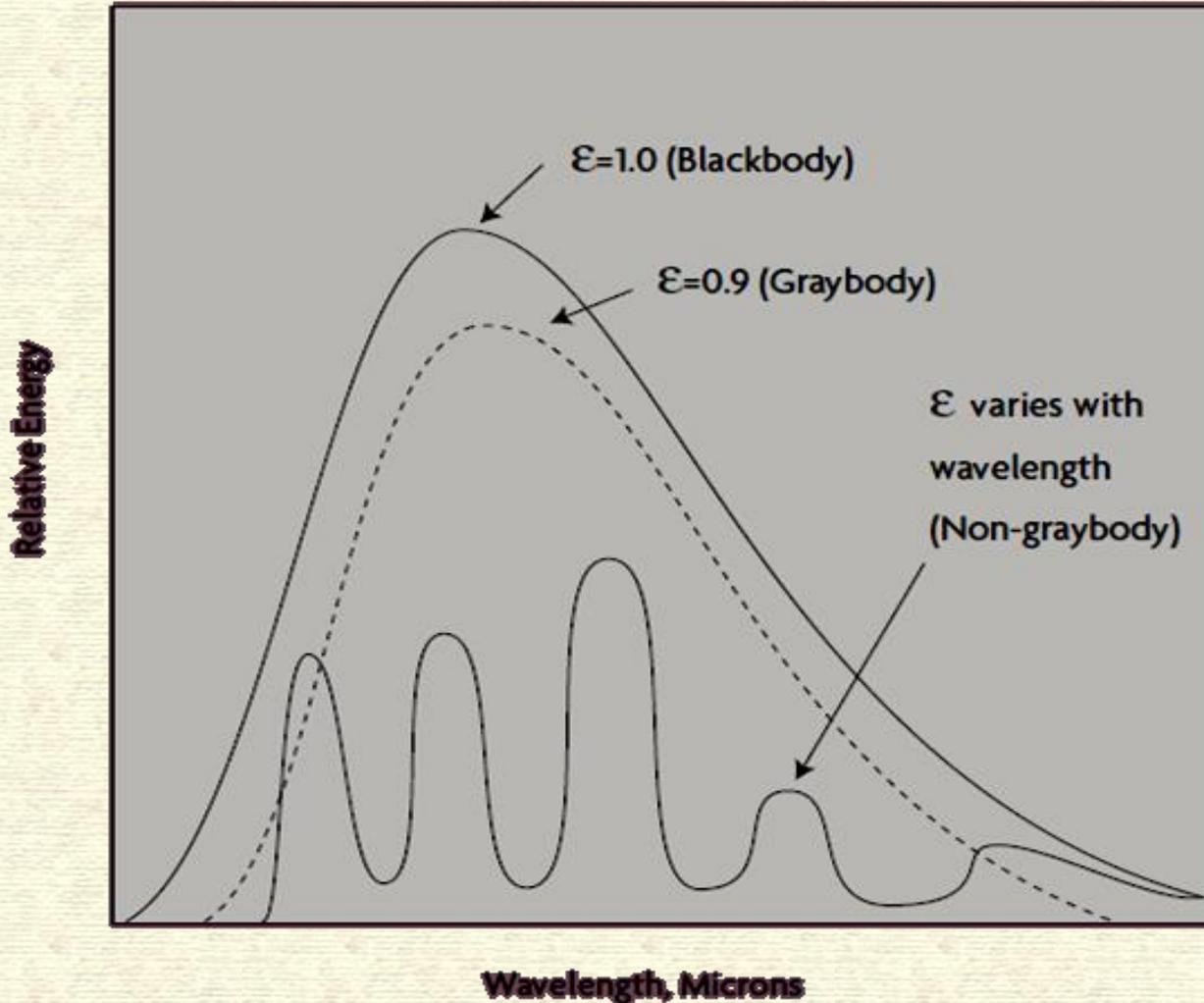
La **emisividad espectral** $\varepsilon(\lambda)$ es la relación entre la energía emitida en una determinada longitud de onda y la emitida por el cuerpo negro ($0 < \varepsilon(\lambda) < 1$). El calificativo de espectral es precisamente por que depende de la longitud de onda (Ley de Plank)



La **emisividad global o total** ε es la relación entre la energía total emitida por un cuerpo y la correspondiente a la de un cuerpo negro (Ley de Stefan-Boltzmann)

PIRÓMETROS - Cuerpo Gris

Un **cuerpo gris** es aquel que tiene una misma emisividad espectral para toda longitud de onda. Algunos materiales como el aluminio presentan esta característica.



Los **pirómetros** es un instrumento capaz de medir la temperatura de un cuerpo a partir de la radiación que emite. Se basan en la teoría cuántica de la radiación de cuerpo negro. Sirven para indicación, transmisión y como interruptores.

Para las mediciones industriales, las longitudes de onda abarcan desde 0.1μ (ultravioleta) hasta 12μ (infrarojo).

PIRÓMETROS



La emisividad del cuerpo cuya temperatura se mide **debe ser conocida**. Esto puede originar errores.

PIRÓMETROS - Características

- Pueden emplearse para objetos en movimiento
- Puede emplearse para medir a grandes distancias.
- Amplio rango de temperaturas, pudiendo medir valores muy superiores a las posibilidades con otros sensores.
- No requiere contacto con el objeto (mide "mirando"). Esto lo hace apto para aplicaciones en las que es difícil insertar otro dispositivo o resulta peligroso.



PIRÓMETROS - Tipos



Pirómetro de Banda Ancha o de Radiación Total

Los más simples y baratos. Responden a una zona muy amplia del espectro abarcando longitudes de onda desde $0,3 \mu\text{m}$ hasta $2,5 \mu\text{m}$ ó $20 \mu\text{m}$

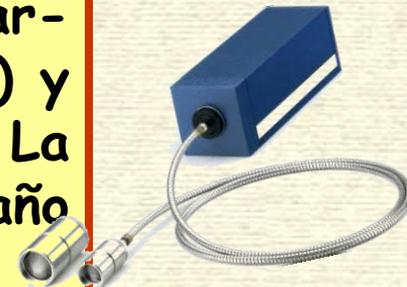


Pirómetro de Banda Angosta

Tienen una respuesta en longitud de onda relativamente angosta y cuidadosamente seleccionada, a menudo para satisfacer requerimientos específicos. Los pirómetros ópticos se pueden considerar como un caso especial de esta categoría

Pirómetro de Relación

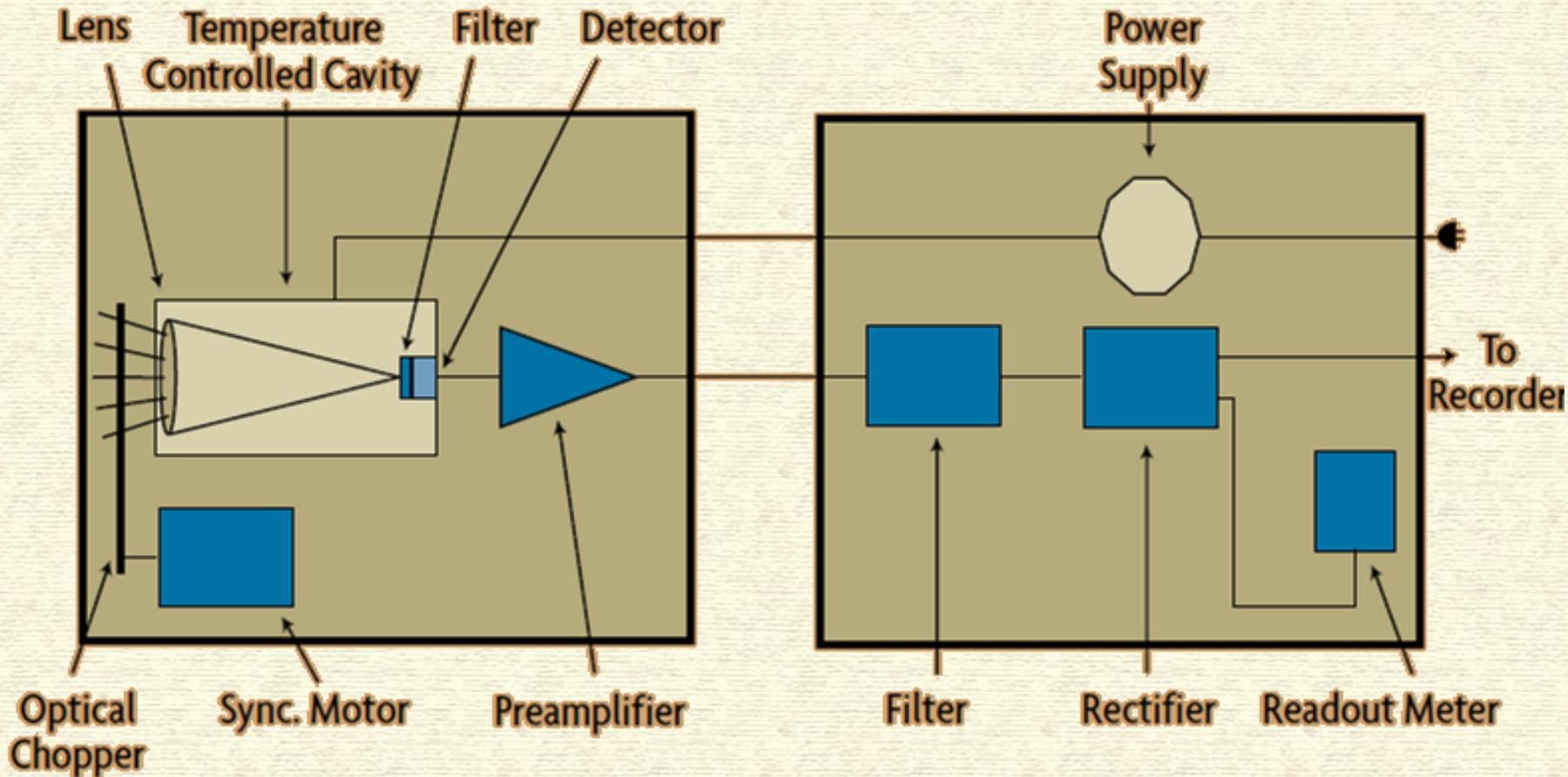
Son en esencia dos pirómetros combinados compartiendo elementos en común (lentes, detector, etc.) y que trabajan en longitudes de onda distintas. La medición es relativamente independiente del tamaño del objetivo, de su distancia y de su emisividad.



Evalúan la temperatura de acuerdo con la Ley de Stefan-Boltzman.

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_e^4$$

PIRÓMETROS DE BANDA ANCHA



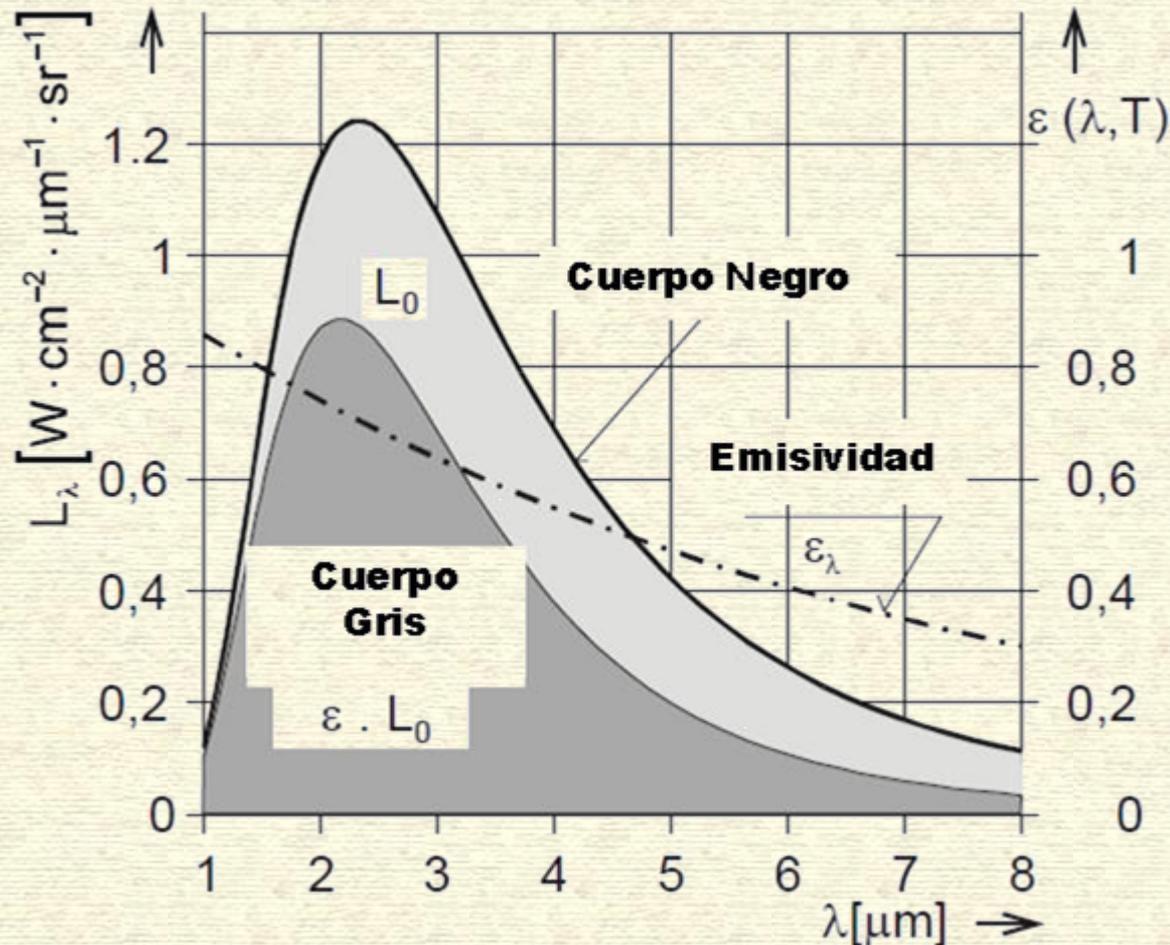
De acuerdo con la Ley de **Stefan-Boltzman**.

$$\sigma T^4 = \sigma \epsilon \tau_p T_S^4$$

$$T_S = T_0 \sqrt[4]{\frac{1}{\epsilon \tau_p}}$$

Donde τ_p es la transparencia de la atmósfera, T_0 la temperatura correspondiente al cuerpo negro.

PIRÓMETROS DE BANDA ANCHA



PIRÓMETROS DE BANDA ANCHA

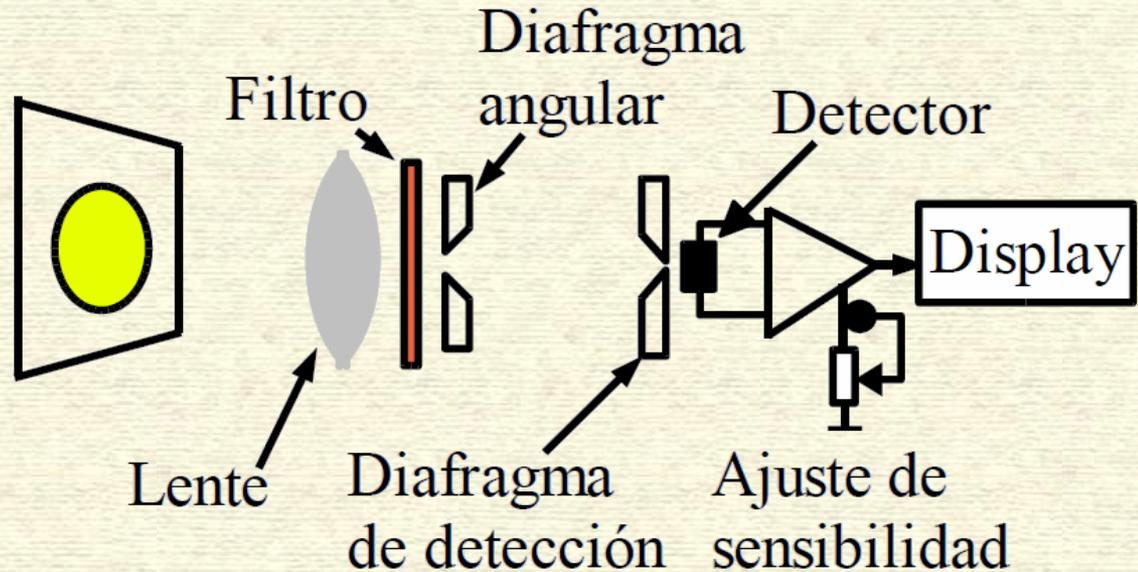
Características



- Amplio rango de longitudes de onda. De $0,3 \mu\text{m}$ hasta $2,5 \mu\text{m}$ ó $20 \mu\text{m}$
- Sensible al humo, humedad y otros gases que absorben radiación.
- Necesidad de un sistema óptico limpio
- Los alcances se ubican entre temperaturas ambiente y hasta los $4000 \text{ }^\circ\text{C}$.

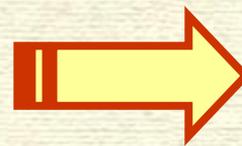
PIRÓMETROS DE BANDA ANGOSTA

Estos dispositivos trabajan en un estrecho rango de longitudes de onda, entre 0.5 a 25 μm aproximadamente. La longitud de onda se elige en función del rango de temperatura y el tipo de superficie a medir.



Se trabaja en la zona del pico de radiación y por lo tanto, aplicando la Ley de Wien

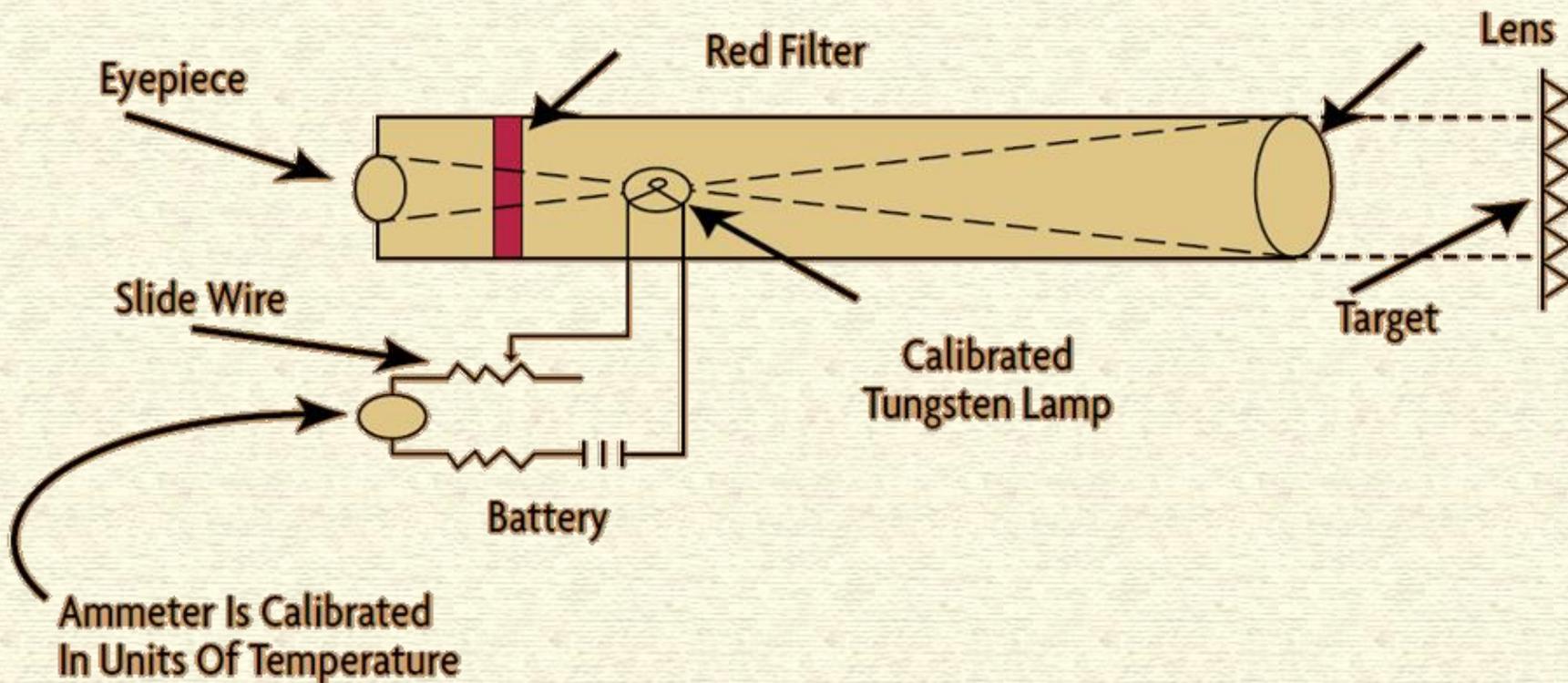
$$T_s = \frac{T_o c_2}{c_2 + \lambda T_o \ln(\epsilon_\lambda \tau_\lambda)}$$



$$\frac{dT_s}{T_s} = -\frac{\lambda T_s}{c_2} \frac{d\epsilon}{\epsilon_\lambda}$$

PIRÓMETROS DE BANDA ANGOSTA - ÓPTICO

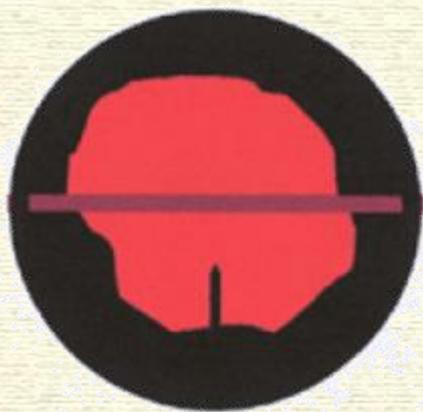
Tienen una lámpara incandescente, generalmente de tungsteno, alimentada por una fuente que regula su luminosidad. Un sistema óptico se encarga de superponer la luz de la lámpara y la del objetivo para que puedan ser vistos simultáneamente. Un filtro rojo deja pasar la luz de $\lambda > 650$ nm. El ojo humano, proporcionan el intervalo de longitud de onda necesario



PIRÓMETROS DE BANDA ANGOSTA - ÓPTICO



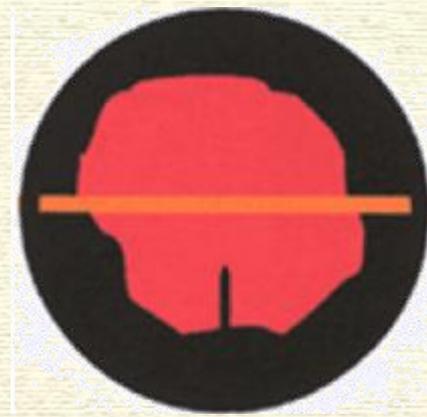
Para tomar una medición, se observa a través del ocular y se ajusta manualmente la intensidad de la lámpara hasta que ésta sea indistinguible de la radiación del objetivo.



Filamento más frío que el objetivo



Filamento y objetivo a la misma temperatura



Filamento más caliente que el objetivo

PIRÓMETROS DE BANDA ANGOSTA

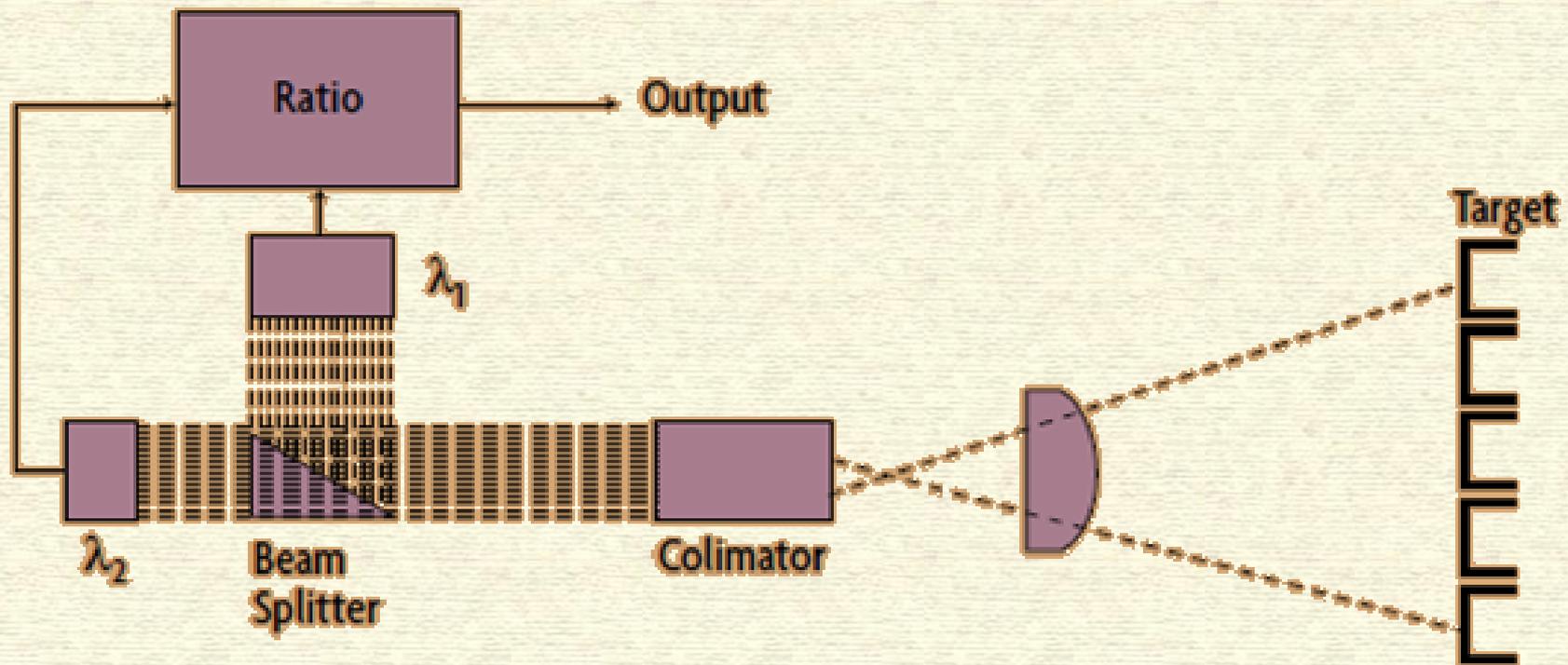
Características

- Se alcanza una buena precisión que puede estar entre ± 0.5 y ± 2 % Span
- El ancho de banda estrecho se logra con filtros apropiados. Cuando más estrecha la banda, más preciso es el instrumento
- La longitudes de onda se eligen para evitar la interferencia de la humedad o del dióxido de carbono de la atmósfera
- Una vez calibrado, cubre rangos de temperatura mucho más estrechos



PIRÓMETROS DE RELACIÓN

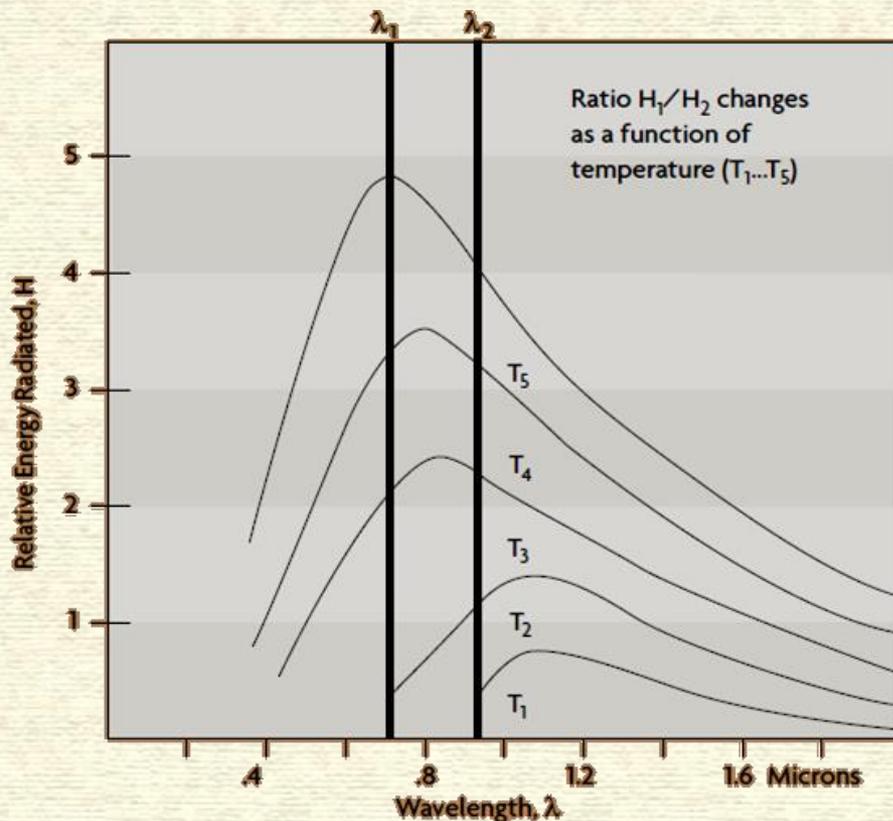
Hay dos sensores combinados con elementos en común (como las lentes y el detector), pero que trabajan con radiaciones de distinta longitud de onda. El dispositivo genera una señal que es el cociente de las respuestas individuales .



PIRÓMETROS DE RELACIÓN

Aplicando la Ley de Plank y haciendo el cociente, resulta:

$$\frac{1}{T_S} = \frac{1}{T_P} - \frac{1}{c_2} \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \ln \frac{\epsilon_{\lambda_1}}{\epsilon_{\lambda_2}}$$



La idea es que la señal "cociente" depende de la temperatura, pero es relativamente independiente del tamaño y de la distancia al objetivo, a diferencia de los otros pirómetros.

Si la emisividad del objetivo es la misma para las dos longitudes de onda del instrumento, la medición resulta independiente de esta cantidad (o del cambio de la misma).

PIRÓMETROS DE RELACIÓN

Factores que afectan la medición



Emisividad desconocida o variable

Hay varias maneras de determinar la emisividad de un objeto. En caso de tratarse de materiales estándares, como aceros y plásticos, los valores de emisividad están **tabulados**:

Materiales no metálicos: 0,85 - 0,90

Metales no oxidados: 0,50 - 0,20

Aluminio, oro y plata: 0,02 - 0,04

De otro modo hay que hacer aproximaciones y para eso existen algunas **técnicas**:

- Por contraste con un termómetro de contacto.
- Usando una máscara de emisividad conocida en el objetivo

La emisividad tiene gran influencia en los pirómetros de radiación total

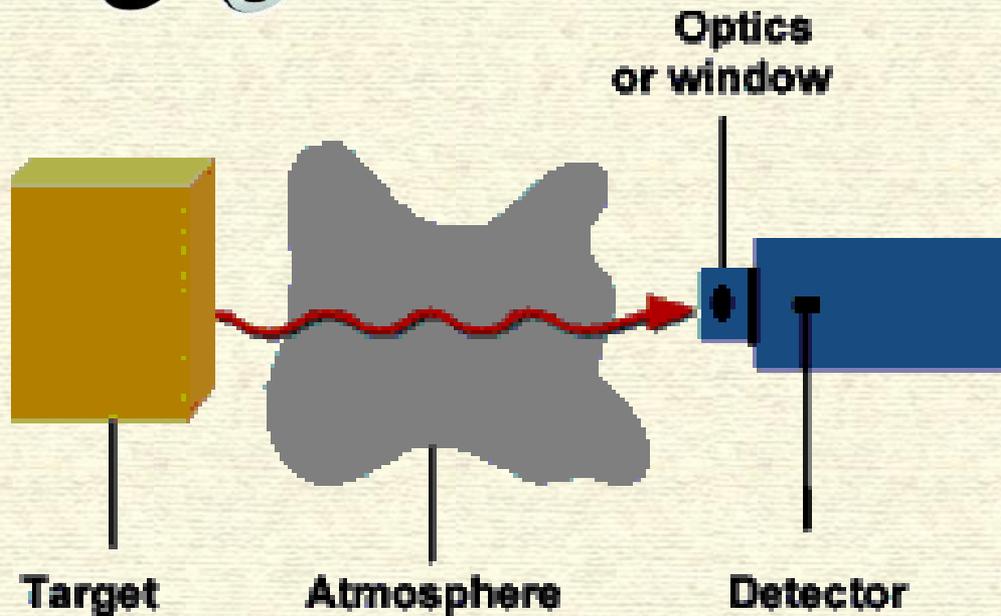
PIRÓMETROS DE RELACIÓN

Factores que afectan la medición

Interferencia en el campo de visión



La radiación del objetivo puede ser atenuada por: **obstrucción física** por humo, polvo o vapor, **absorción** por otros gases en el campo de visión, **bloqueo** intermitente por un cuerpo opaco frío que obstruye el campo de visión.

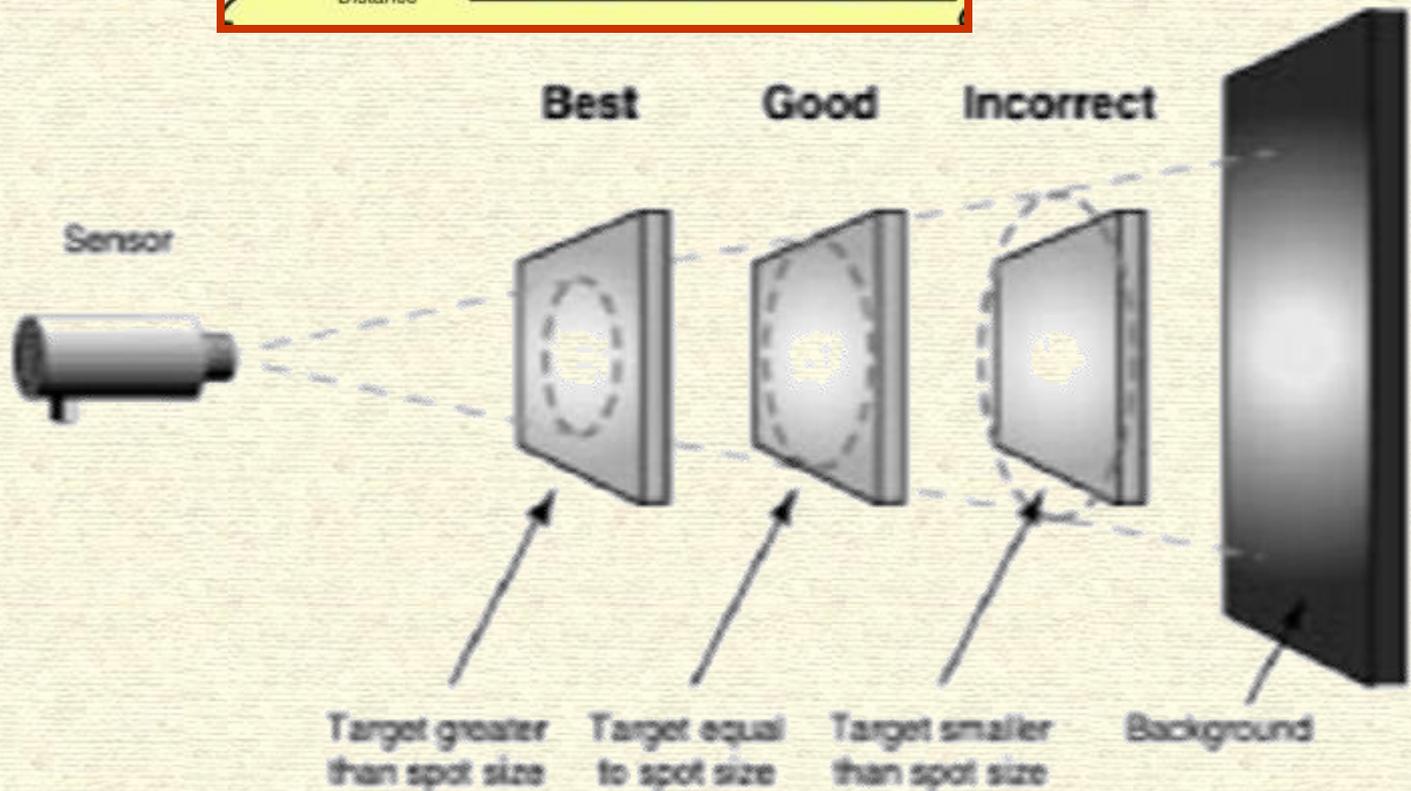
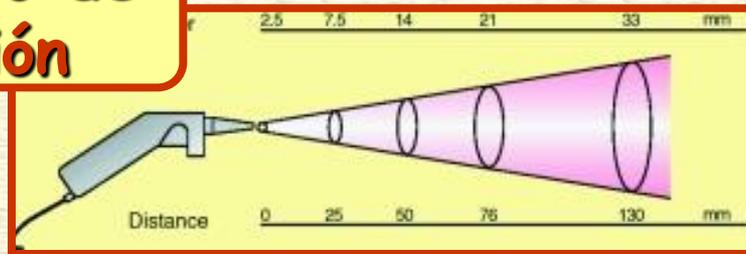


Conviene analizar el espectro de absorción de cualquier material que obstruye el campo de visión, para evitar emplear longitudes de onda que coincidan con las líneas de absorción

PIRÓMETROS DE RELACIÓN

Factores que afectan la medición

Angulo de visión



PIRÓMETROS - Detectores

Los elementos que miden la radiación proveniente del objeto pueden ser:

Sensores fotoeléctricos

Elementos que generan señales eléctricas que cambian por efecto de la radiación infrarroja



Termopilas

Termocuplas en serie



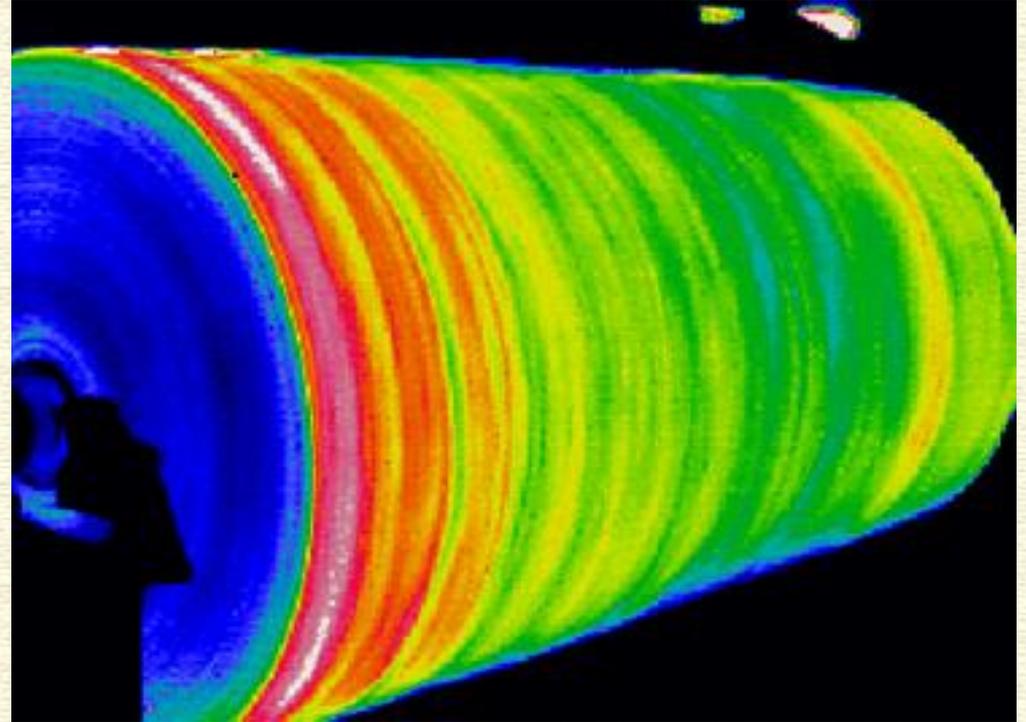
Bolómetro

Medidor de la radiación térmica basados en RTDs



PIRÓMETROS DE IMAGEN (Scan)

Hay **pirómetros** que **generan imágenes** de color que dan un mapa de las temperaturas sobre la superficie. Son de indicación.



INDICADORES, REGISTRADORES Y CONTROLADORES

INPUTS

T/C's: J, T, K, L, N, B, R, S, C; Pt Rh20% vs. Pt 40% Rh

RTD: 3-wire, PT100

DC Linear (Scalable -1999 to +9999)

Volts: 0-5V, 1-5V, 0-10V, 2-10V

DC milliamps: 0-20mA or 4-20mA

DC millivolts: 0-50mV, 10-50mV

OUTPUTS

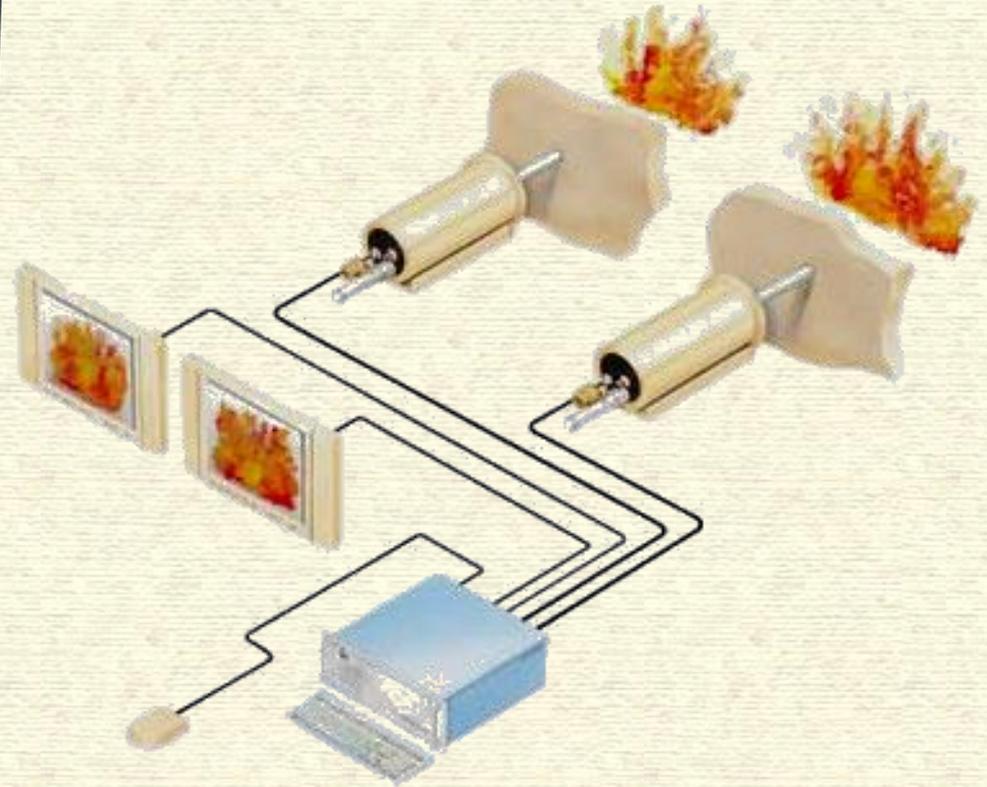
All outputs are user-selectable and customized based on desired application; choose from the following output types

Max # of Outputs: 4 for alarm, 24 VDC transmitter power supply or retransmit of process value

Single Alarm Relay: Optional SPDT; 240VAC 2A resistive; Lifetime >500,000 operations at rated voltage/current



INDICADORES, REGISTRADORES Y CONTROLADORES



INDICADORES VISUALES DE TEMPERATURA



Indicadores reversible



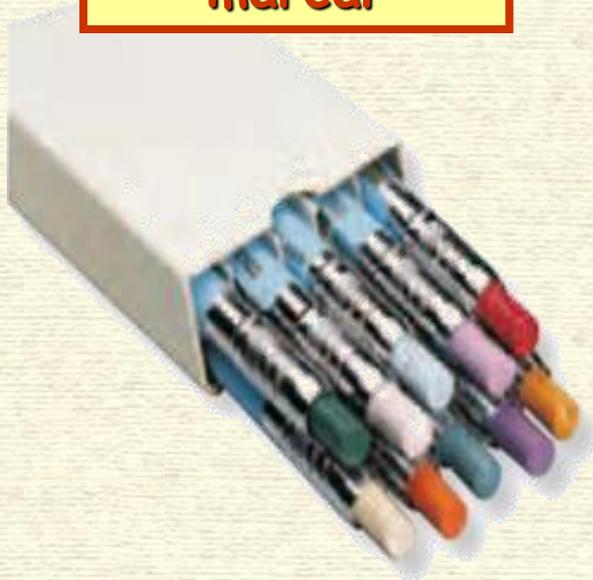
Indicador irreversible



Hay rótulos (autoadhesivos) con pigmentos que cambian de color en forma reversible o irreversible para indicación de niveles de temperaturas

INDICADORES VISUALES DE TEMPERATURA

Crayones para marcar



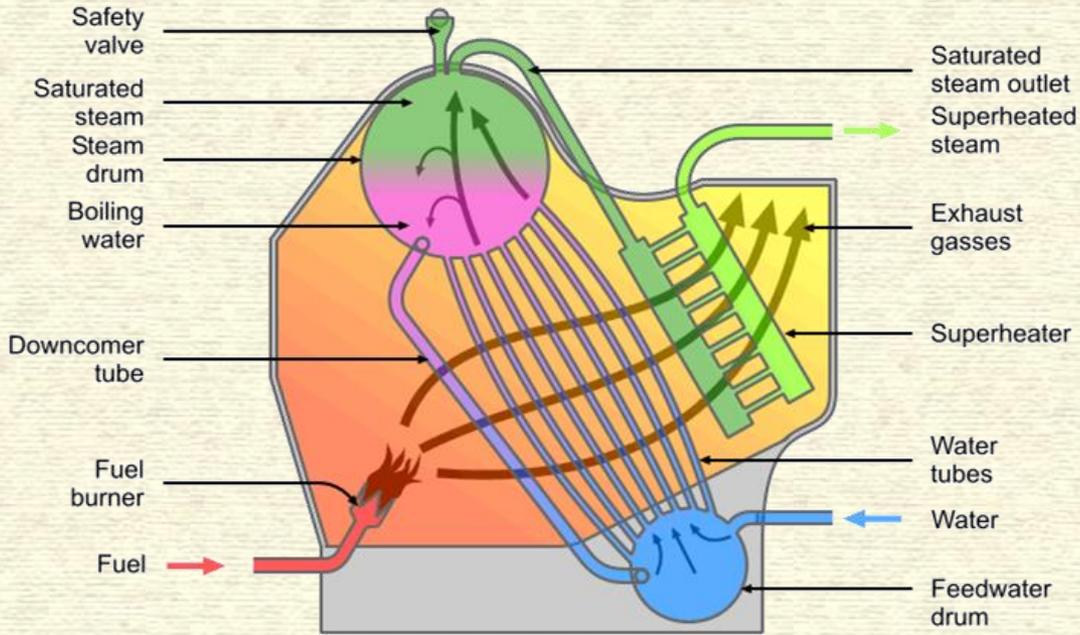
Initial crayon color	Temperature points			
	First color change		Second color change	
Light gray	Violet-blue	248°F (120°C)	—	—
Pink	Blue-violet	383°F (195°C)	Gray	563°F (295°C)
Pale blue	Light green	419°F (215°C)	White-buff	581°F (305°C)
Light purple	Bright blue	437°F (225°C)	Gray	608°F (320°C)
Orange-brown [†]	Black	473°F (245°C)	Light-gray	635°F (335°C)
Yellow-brown	Red brown	572°F (300°C)	—	—
Dark violet	Light violet	608°F (320°C)	White-buff	860°F (460°C)
Aqua green	White-buff	680°F (360°C)	—	—
Red	White	878°F (470°C)	—	—
Apple green	White	1112°F (600°C)	—	—

[†]Orange-brown crayon has a third color change at 941°F (505°C).

La variante es usar **pintura** o **crayones** con pigmentos termosensibles

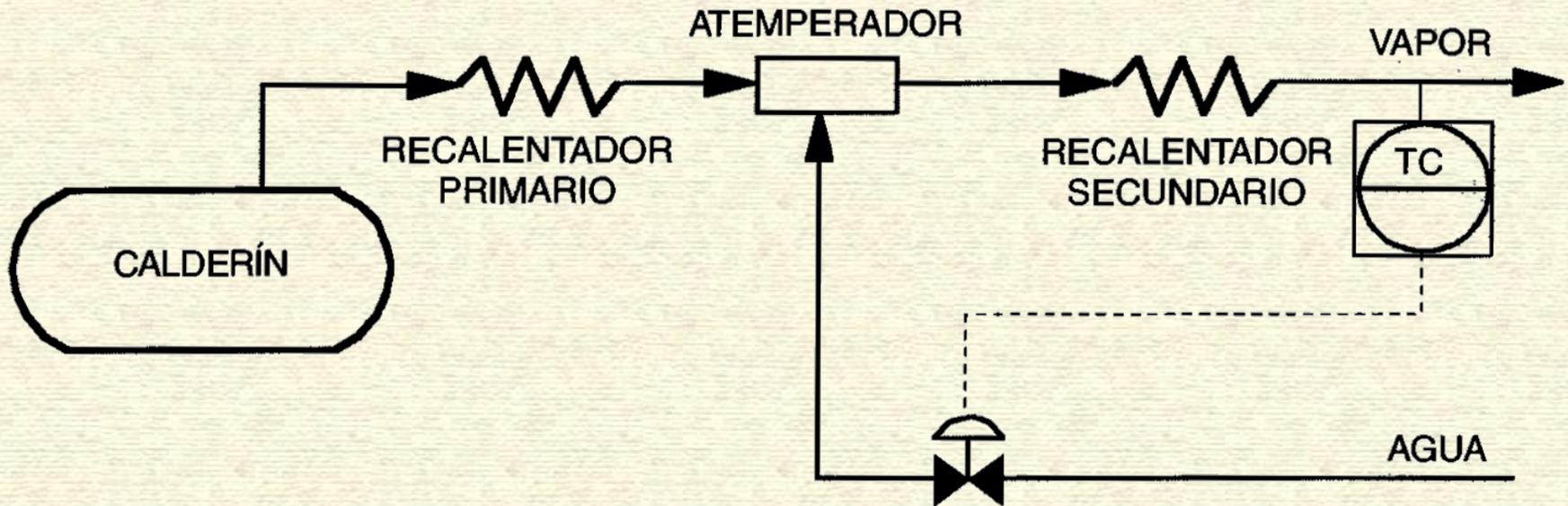
Pinturas





LAZO DE CONTROL DE TEMPERATURA

Temperatura de recalentamiento de una caldera



INSTRUMENTOS COMERCIALES

LAND

**LAND -Cyclops 390B
Furnace Pro**



<http://www.landinst.com/>

**General Purpose
Test Wells**



OMEGA

<http://www.omega.com/>



EMERSON
Process Management



**ROSEMOUNT
RTD Sensors**

<http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/rosemount/Temperature/>

INSTRUMENTOS COMERCIALES



**YTA110
Temperature
Transmitter**

<http://www.yokogawa.com/>



Power and productivity
for a better world™

**Tranmisor de Temperatura
TF212/TF212-Ex**



<http://www.abb.com/>



**Sensor de Temperatura
a Termoresistencia**

<http://www.conar.com>