

1



TEMPERATURA



2

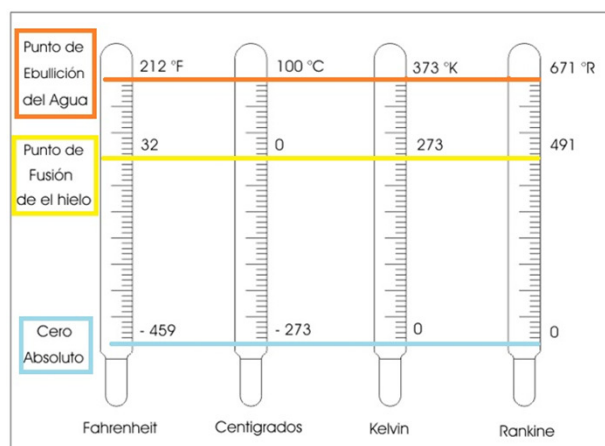
- El control de la temperatura es importante para los procesos de separación y reacción de sustancias, donde generalmente la temperatura debe mantenerse dentro de unos límites que garanticen la seguridad y el funcionamiento de los equipos del proceso.
- La temperatura es una variable difícil de cuantificar con exactitud y su medición siempre se hace en forma indirecta, es decir, se miden otras variables asociadas a ella, como p.ej.,
 - ✓ La expansión volumétrica
 - ✓ Generación de una fuerza electromotriz
 - ✓ Cambio en la resistencia de un conductor o semiconductor.
 - ✓ Cuantificación de la radiación emitida (o pico de frecuencia de onda emitida).
 - ✓ Entre otras.

3

- En casi todos los casos, el sensor de temperatura está protegido de los materiales para evitar que el instrumento afecte o reaccione con sustancias del proceso, además de evitar daños en el sensor.

4

Escalas de temperatura



5

Conversión unidades temperatura

- $^{\circ}C = \frac{5}{9}(^{\circ}F - 32)$
- $^{\circ}F = \frac{9}{5}^{\circ}C + 32$
- $^{\circ}K = ^{\circ}C + 273.15$
- $^{\circ}R = 1.8^{\circ}K$

6

Termómetros de vidrio

- Este instrumento funciona bajo el principio de expansión y contracción volumétrica.
- Al depósito que contiene el líquido del fluido se le llama bulbo. Cuando ocurren cambios de temperatura el líquido sube y pasa por un cilindro delgado llamado tubo capilar. Este tiene generalmente una cámara de sobrecarga para almacenar el exceso de fluido. El termómetro tiene una escala dividida en grados.



7

Termómetros de vidrio

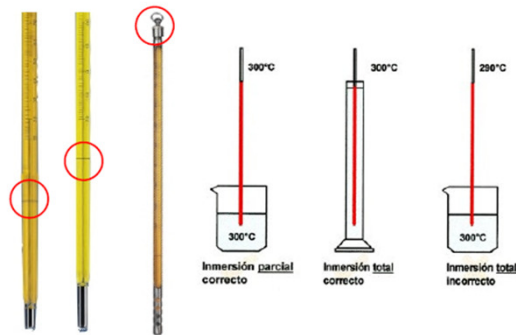
Fluido Termométrico	Rangos de temperatura (°C)
Mercurio	-39 a 600
Aleaciones de Mercurio	-60 a 120
Alcohol	-80 a 100



8

Termómetros de vidrio

- Hay termómetros de inmersión parcial, total y completa; y deben utilizarse adecuadamente para evitar errores en la indicación que entregan.



9

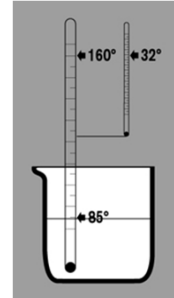
Termómetros de vidrio

- Con la siguiente ecuación se puede hacer la corrección para termómetros de inmersión total cuando no se usan correctamente:

$$T_{\text{real}} = T_{\text{med}} + \frac{(T_{\text{med}} - T_{\text{amb}})(T_{\text{med}} - T_{\text{nivel}})}{6000}$$

- Ejemplo:

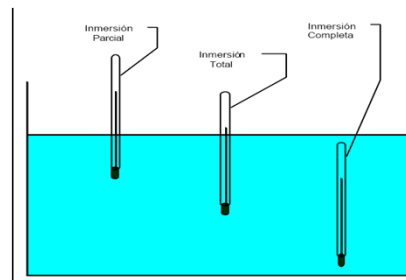
$$T_{\text{real}} = 160 + \frac{(160 - 32)(160 - 85)}{6000} = 161.6$$



10

Termómetros de vidrio

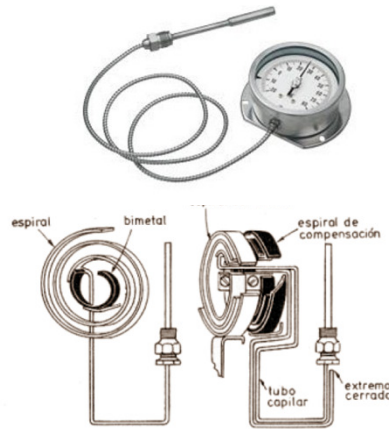
- Ventajas: simples, económicos y de larga duración.
- Desventajas: son frágiles y sólo permiten indicación local.



11

Termómetro de bulbo y capilar

- Consiste en un bulbo conectado por un capilar flexible a un Bourdon en espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia, el fluido almacenado en su interior se expande y la espiral tiende a desenrollarse moviendo una aguja sobre la escala.



12

Termómetro de bulbo y capilar

- Clase I (termómetros activados por líquido): requieren compensación por temperatura ambiente y por longitud de capilar mayor a 5m.
- Clase II (termómetros activados por vapor): no requieren compensación por temperatura ambiente ni por capilar.
- Clase III (termómetros activados por gas): se recomienda usar gases inertes libres y manejan longitudes de capilar menores de 30m.
- Clase IV (termómetros de mercurio): se encuentran con longitudes de capilar entre 15 m. y 30 m.

13

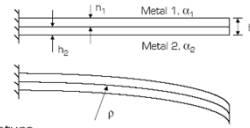
Termómetro bimetálico

- Se basa en la dilatación térmica de dos materiales con diferentes coeficientes de expansión, por lo que se expanden y se contraen en distintas proporciones cuando se someten a cambios de temperatura.

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

Donde:
 L_0 : Longitud original
 ΔL : Elongación
 ΔT : Cambio de temperatura
 α : Coeficiente de expansión

ρ =RADIO DE CURVATURA



14

Termómetro bimetálico

- Los termómetros bimetálicos de lámina o de botón se utilizan para interruptores, mientras que para indicación local se utilizan los bimetálicos espirales y helicoidales.



15

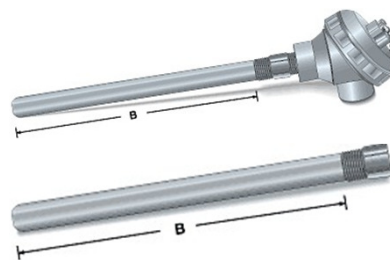
Termómetro bimetálico

Material	Coeficiente de expansión térmica x °C	Modulo de elasticidad PSI lb/plg ²	GN/m ²
Invar	1.7×10^{-6}	21.4×10^6	147
Latón amarillo	2.02×10^{-5}	14×10^6	96.5
Monel -400	1.35×10^{-5}	26×10^6	179
Inconel -702	1.25×10^{-5}	31.5×10^6	217
Acero inox. -3/6	1.6×10^{-5}	28×10^6	193

16

Termopozo

- En ocasiones puede ser necesario medir la temperatura de sustancias encerradas en tanques, o en tuberías, y que pueden resultar corrosivas para el material del que está hecho el medidor. En este tipo de situación se utilizan los pozos térmicos.



17

Termopozo

- El pozo térmico es una estructura en forma de tubo cerrado en un extremo y abierto en el otro. Sirve para cubrir el bulbo del termómetro y protegerlo.



Cabezal

18

Termoresistencias

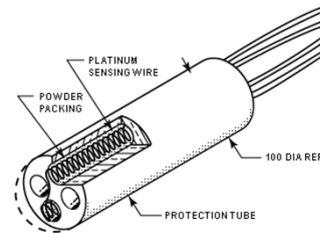
- Se basan en la propiedad de los conductores eléctricos de variar su resistencia eléctrica en función de la temperatura. Esta característica depende de cada material.
- Las termoresistencias se dividen en termistores (típicamente se encuentran con coeficiente de temperatura negativo, aunque también existen con coeficiente positivo) y en termoresistencias (RTD, coeficiente de temperatura positivo).



19

RTD

- El principal componente eléctrico de una RTD es una resistencia, generalmente hecha con una bobina de alambre que se envuelve alrededor de un cilindro aislante de cerámica. Normalmente se emplea una cubierta de acero inoxidable para proteger el elemento sensor de daños físicos y del fluido del proceso. Los dos terminales se conectan a través de un sello hermético al circuito dentro de la cubierta de acero inoxidable.



20

RTD

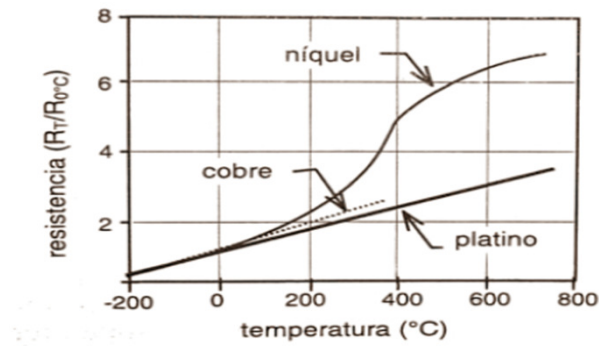
- Los materiales más utilizados para su fabricación son el platino, el cobre y el níquel.
- Se prefiere el platino a pesar de su alto costo, por ser un material muy estable y de comportamiento lineal.



21

RTD

Curva respuesta para una RTD según el material de fabricación



22

RTD

Ecuaciones

$$R_T = R_0(1 + \alpha T), [0-200 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

- donde R_0 es la resistencia en ohmios a la temperatura de referencia (0°C), R_T resistencia en ohmios a la temperatura T , α coeficiente de temperatura depende del material, $\alpha_{PT} = 0,00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

- $R_T = R_0[1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3], [-200 \text{ a } 0 \text{ } ^\circ\text{C}]$

- $R_T = R_0[1 + AT + BT^2 + CT^3], [0-850 \text{ } ^\circ\text{C}],$

- con,

- $A = 3,90802 * 10^{-3}$

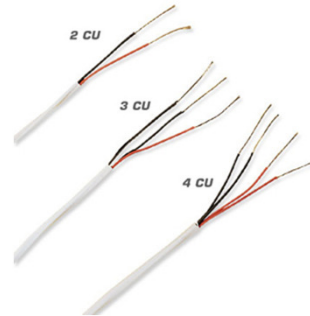
- $B = -5,802 * 10^{-7}$

- $C = -4,2735 * 10^{-12}$

23

RTD

- Las RTD requieren compensación por la alteración de la resistencia debido al uso de otros materiales conductores en el cable de extensión, así como al incremento de su longitud y las variaciones de la resistividad en función del gradiente de temperatura ambiente. Estas compensaciones se hacen con puentes de Wheatstone modificados para tres y cuatro hilos.



24

RTD

- Ventajas: Son elementos mucho más lineales que los termopares, manejan una muy buena exactitud, velocidad de respuesta, reproducibilidad y conservan su desempeño a través del tiempo.
- Desventajas: son mucho más costosas comparadas con los termopares, las RTD fabricadas con níquel y cobre manejan límites bajos de temperatura.

25

Termistor

- Son semiconductores electrónicos sólidos (óxidos de níquel, magnesio, hierro, cobre, manganeso, titanio o silicio) con un coeficiente de temperatura elevado pero negativo, aunque también existen termistores con coeficiente de temperatura positivo.
- Normalmente vienen recubiertos con resina epóxica o con vinilo para protegerlos de la humedad y la contaminación ambiental.
- Vienen en diferentes formas y aplicaciones, especialmente para la medición de temperatura en circuitos electrónicos.
- Son elementos altamente no lineales.

26

Termistor

- La relación entre la resistencia y temperatura aparece en la ecuación. Todas las temperaturas están medidas en Kelvin.
- R_t Resistencia Total en Ω a la temperatura T_t en $^{\circ}\text{K}$
- R_0 Resistencia a la temperatura T_0
- T_0 temperatura de referencia = 25°C (298.15°K)
- β Constante que depende del material

$$R_t = R_0 e^{\beta(\frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_0})}$$

Ecuación termistor

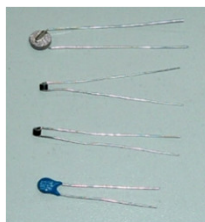
27

Termistor

- Una expresión más exacta es la ecuación de Steinhart-Hart:

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

- Donde las constantes A, B y C se obtienen de la curva experimental del termistor, en un rango específico de temperaturas.



28

Sensores circuitos integrados

- Se basan en la relación voltaje a corriente entre los diodos semiconductores que son sensibles a la temperatura.
- Los circuitos integrados operan en rangos de temperaturas pequeños, comparados con los termopares y las RTD. Este rango está limitado normalmente entre -25 °C a 150 °C, pero algunos sensores extienden su rango entre -55 °C hasta 200 °C.
- Existen sensores con salida digital. Son económicos.

Sensores circuitos integrados

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*



BOTTOM VIEW

TL/H/5516-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH,
LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

TO-92
Plastic Package

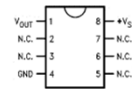


BOTTOM VIEW

TL/H/5516-2

Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

SO-8
Small Outline Molded Package



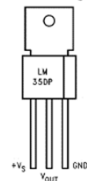
TL/H/5516-21

Top View

N.C. = No Connection

Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

TO-202
Plastic Package

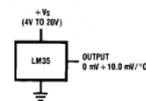


TL/H/5516-24

Order Number LM35DP
See NS Package Number P03A

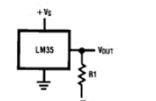
TRI/STATE is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

Typical Applications



TL/H/5516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade
Temperature
Sensor (+2°C to +150°C)



TL/H/5516-4

Choose $R_1 = -V_S / 50 \mu A$

$V_{OUT} = +1,500 \text{ mV at } +150^\circ\text{C}$

$= +250 \text{ mV at } +25^\circ\text{C}$

$= -550 \text{ mV at } -55^\circ\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade
Temperature Sensor

Termopares

- Los termopares se basan en el efecto Seebeck según el cual en la unión de dos conductores, de materiales diferentes, se genera un milivoltaje cuando se somete esta unión a cambios de temperatura.



31

Termopares

- El milivoltaje se generará en las puntas libres y los extremos unidos son los que se someten a cambios de temperatura.
- Los extremos libres deben conservarse a la misma temperatura, denominada temperatura de referencia y que para las tablas es de 0°C.



32

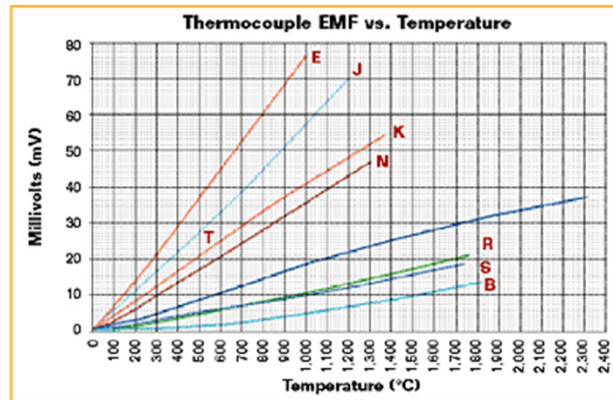
Termopares

Tipos de termopares

Tipo de Termopar	Nombre de los Materiales	Rango de Operación (°F)	mV
B	Platino - 30% Rhodio (+) Platino - 6% Rhodio (-)	0 - 1820	0.007-13.499
C	W5Re Tungsteno 5% Renio (+) W26Re Tungsten 26% Renio (-)	0 - 2320	-
E	Cromel (+) Constantán (-)	-270 - 1000	0 - 75.12
J	Acero (+) Constantán (-)	-210 - 760	-7.52 - 50.05
K	Cromel (+) Alumel (-)	-270 - 1372	-5.51 - 51.05
N (AWG 14)	Nicrosil (+) Nisil (-)	0 - 1300	-
N (AWG 28)	Nicrosil (+) Nisil (-)	-270 - 400	-
R	Platino 13% Rodio (+) Platinum (-)	-50 - 1768	0 - 18.636
S	Platino 10% Rodio (+) Platino (-)	-50 - 1768	0 - 15.979
T	Cobre (+) Constantán (-)	-270 - 400	-5.28 - 20.80

33

Termopares



Source: Manual in the Use of Thermocouples in Temperature Measurement, 4th Edition, ASTM, 1993, Philadelphia.

34

Termopares

- En pequeños rangos de temperatura y para cierto tipo de termopares, los coeficientes de Seebeck son aproximadamente constantes y la tensión proporcional. Cuando se trabaja en rangos más amplios los coeficientes varían ligeramente como función de la temperatura, convirtiendo la tensión de Seebeck en no lineal.
- Para obtener la temperatura a partir del voltaje se utilizan tablas normalizadas por la ITS (Escala internacional de temperatura) o polinomios de ajuste suponiendo que la punta fría está a una temperatura de 0 °C (se deben hacer correcciones si la temperatura de referencia es diferente).

35

Termopares

POLINOMIOS DE AJUSTE PARA TERMOPARES

	Tipo K	Tipo J	Tipo E	Tipo T	Tipo R
	n=8	n=5	n=9	n=7	n=8
a_0	0.2265846	-0.048868252	0.104967248	0.10086091	0.263632917
a_1	24152.109	19873.14503	17189.45282	25727.94369	179075.491
a_2	67233.4248	-218614.5353	-282639.0850	-767345.8295	-48840341.37
a_3	2210340.68	11569199.78	12695339.5	78025595.81	1.90002 $\times 10^{10}$
a_4	-860963914.9	-264917531.4	-448703084.6	-9247486589	-4.82704 $\times 10^{12}$
a_5	4.83506 $\times 10^{10}$	2018441314	1.1086 $\times 10^{10}$	6.97688 $\times 10^{11}$	7.62091 $\times 10^{14}$
a_6	-1.18452 $\times 10^{12}$		-1.76807 $\times 10^{11}$	-2.66192 $\times 10^{13}$	-7.20026 $\times 10^{16}$
a_7	1.3869 $\times 10^{13}$		1.71842 $\times 10^{12}$	3.94078 $\times 10^{14}$	3.71496 $\times 10^{18}$
a_8	-6.33708 $\times 10^{13}$		-9.19278 $\times 10^{12}$		-8.03104 $\times 10^{16}$
a_9			2.06132 $\times 10^{13}$		

$$T = a_0 + a_1 V + a_2 V^2 + \dots + a_n V^n$$

36

Termopares

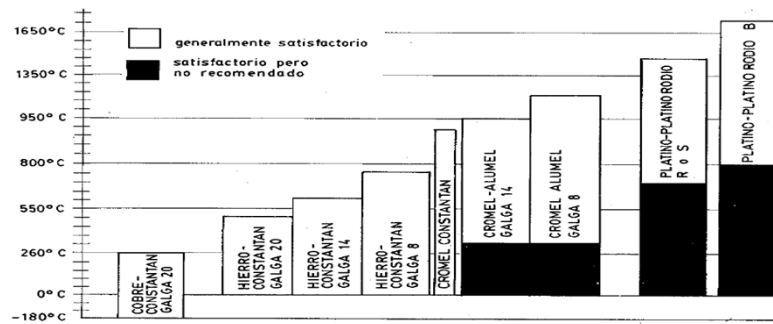
$$V = b_0 + b_1 T + b_2 T^2 + \dots + b_n T^n$$

	Tipo K	Tipo J	Tipo E	Tipo T	Tipo R
	n=9	n=7	N=9	n=8	n=3
b_0	-18.533963273	0	0	0	-264.18007025
b_1	38.918344613	50.372753027	58.6958577	38.740773840	8.0468680747
b_2	1.66451 $\times 10^{-2}$	3.04254 $\times 10^{-2}$	4.31109 $\times 10^{-2}$	3.31901 $\times 10^{-2}$	2.98922 $\times 10^{-3}$
b_3	-7.87023 $\times 10^{-5}$	-8.56697 $\times 10^{-5}$	5.7223 $\times 10^{-5}$	2.07141 $\times 10^{-4}$	-2.68760 $\times 10^{-7}$
b_4	2.28357 $\times 10^{-7}$	1.33488 $\times 10^{-7}$	-5.4020 $\times 10^{-7}$	-2.19458 $\times 10^{-6}$	
b_5	-3.5700 $\times 10^{-10}$	-1.70224 $\times 10^{-10}$	1.5459 $\times 10^{-9}$	1.10319 $\times 10^{-8}$	
b_6	2.99329 $\times 10^{-13}$	1.9416 $\times 10^{-13}$	-2.4850 $\times 10^{-12}$	-3.09275 $\times 10^{-11}$	
b_7	-1.28498 $\times 10^{-16}$	-9.63918 $\times 10^{-17}$	2.3389 $\times 10^{-15}$	4.56533 $\times 10^{-14}$	
b_8	2.22399 $\times 10^{-20}$		-1.1946 $\times 10^{-18}$	-2.7616 $\times 10^{-17}$	
b_9	(1)		2.5561 $\times 10^{-22}$		

37

Termopares

Selección de un termopar



38

Termopares

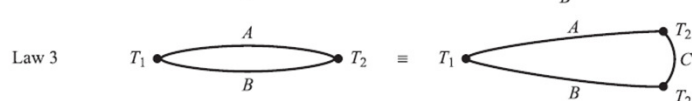
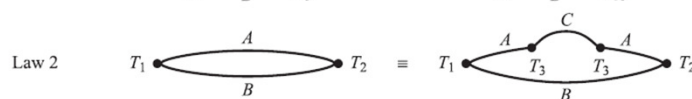
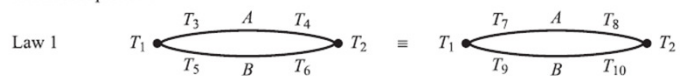


INTERNACIONAL IEC 584-2	INTERNACIONAL IEC 584-2	CHINA GB 16810	HOLANDA NEN 50600	JAPON JIS C 1601	FRANCIA NF 1601	COMENTARIOS	CODIGO ANSI
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	J
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	K
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	V
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	T
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	E
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	N
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	R
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	S
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	U
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	B
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	G
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	C
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	W
						Alumel-Ni, Ni-Cr/Ni-Al. No recomendado para altas temperaturas.	D

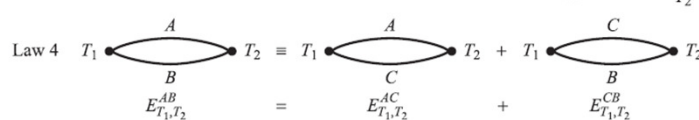
Termopares

- Se recomienda utilizar cables de extensión del mismo material del termopar. Cada termopar tiene su cable de extensión y no son intercambiables entre diferentes tipos.
- También se deben igualar la temperatura en los extremos libres para minimizar el efecto del gradiente de temperatura sobre la longitud del termopar. Para esto, las terminales se envuelven en un bloque isotérmico.
- Es importante recordar que para las tablas por norma la temperatura de referencia es de 0 °C, lo que en la práctica no es posible garantizar, por lo que se necesita hacer una compensación de punta fría.

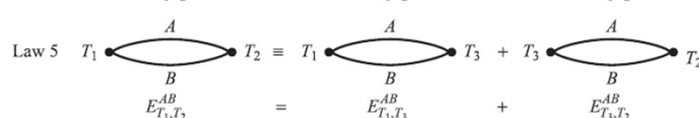
Thermocouple laws



Ley de los metales intermedios



Ley de las temperaturas intermedias



41

Termopares

- Interpretación de mediciones de f.e.m.

Ley de las temperaturas intermedias:

$$E_{T_1, T_2} = E_{T_1, T_3} + E_{T_3, T_2}$$

Si $T_2 = 0^\circ\text{C}$, entonces

$$E_{T_1, 0} = E_{T_1, T_3} + E_{T_3, 0}$$

42

Termopares

- Se desea medir la temperatura de un líquido contenido en un recipiente con un termopar de cromel-alumel. El empalme de medición se inserta en el recipiente y el empalme de referencia se deja fuera de éste, donde la temperatura ambiente es 20°C . La f.e.m. medida es de 5.3 mV.Cuál es la temperatura del proceso?

43

Termopares

- Ventajas:
 - Ofrecen amplios y variados rangos de medición.
 - Cuando se protegen con termopozos son más robustos.
 - No requieren alimentación.
 - Se pueden adquirir indicadores, transmisores, controladores, entre otros; que miden directamente el termopar y mediante un circuito integrado hacen la compensación de punta fría.
 - Económicos.
- Desventajas:
 - Son elementos alinéales cuando se trabajan en rangos amplios.
 - Son menos precisos y estables que las termoresistencias.

44

Detección de temperatura mediante cambios de color y forma

- Los indicadores de color están disponibles en forma de etiquetas adhesivas, crayón o de pintura. Cuando cambia la temperatura, estos dispositivos cambian de color o se derriten o endurecen. Son económicos y pueden adquirirse en varios tipos y rangos que van de 52 °C a 137 °C (100 a 2500 °F).



45

Detección de temperatura mediante cambios de color y forma

- Se utilizan en la medición de temperatura de calderas, en pequeños hornos, en procesos de esterilización donde se desea asegurar que la temperatura mínima necesaria sea alcanzada.
- Los cambios de color en las etiquetas son dependientes de la temperatura y el tiempo, y este cambio no es reversible.

46

Detección de temperatura mediante cambios de color y forma



47

Detección de temperatura mediante cambios de color y forma

- Termómetros de cristal líquido (LCD):
cambian de color a temperaturas específicas, pero presentan la característica de regresar a su estado original. Son autoadheribles, no son tóxicos y manejan rangos entre 0 °C a 60 °C.



48

Detección de temperatura mediante cambios de color y forma

- Conos pirométricos (conos de Seger):
son usados en la industria de la cerámica para dar una indicación al operador de las condiciones que se tienen dentro del horno.
- Los conos no se funden a una temperatura específica, sino que se suavizan con ésta.
- Existen aproximadamente 60 conos diferentes disponibles para cubrir rangos desde 538 a 1982 °C.



49

Pirómetros de radiación

- Todos los cuerpos calientes emiten radiaciones térmicas que pueden ser absorbidas por algún otro cuerpo, provocando en él un aumento de temperatura. Estas radiaciones, así como las ondas de radio, la luz, los rayos X, etc., son ondas electromagnéticas capaces de propagarse en el vacío.
- Cuanto mayor sea la temperatura del cuerpo caliente, tanto mayor será la cantidad de calor transmitida por radiación.

50

Pirómetros de radiación

- Los métodos sin contacto para la medición de temperatura son usados ampliamente en la fabricación de vidrio, aleación de metales, materiales semiconductores y de otros productos que requieren de calor intenso como parte del proceso de manufactura.

51

Pirómetros de radiación

Espectro electromagnético

Nombre	Frecuencia en Hertz
Onda de radio y TV	$10^2 - 10^8$
Microondas	$10^8 - 10^{12}$
Radiación infrarroja	$10^{11} - 10^{14}$
Radiación visible	$4.6 \times 10^{14} - 6.7 \times 10^{14}$
Radiación ultravioleta	$6.7 \times 10^{14} - 10^{18}$
Rayos X	10^{20}
Rayos Gama	10^{22}

52

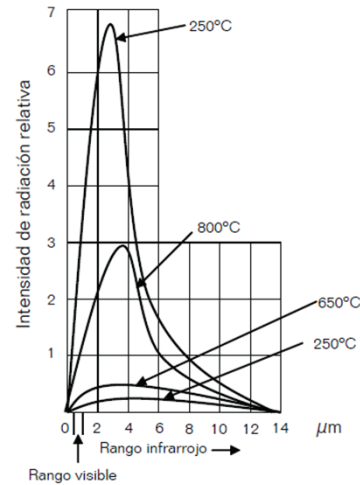
Pirómetros de radiación

- La pirometría es una técnica para determinar la temperatura de un cuerpo mediante la medición de su radiación electromagnética y se basa en dos principios:
 1. La intensidad de la radiación electromagnética emitida por un cuerpo, depende al menos parcialmente de la emisión del cuerpo o habilidad para radiar energía.
 2. La intensidad de la radiación electromagnética emitida por un cuerpo, también depende de su temperatura.

53

Pirómetros de radiación

- El cuerpo que emite y absorbe calor en forma ideal es llamado un cuerpo negro. Un cuerpo negro absorbe toda la energía radiante que cae sobre él, sin reflejar absolutamente nada. Aunque un cuerpo negro es un objeto ideal más que real.



54

Pirómetros de Radiación

- Estos elementos miden la temperatura de un objeto sin contacto físico con el.
- Se fundamentan en la ley de Stefan-Boltzman que relaciona la intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo con un incremento proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo,
- A mayor temperatura, mayor es la energía radiada.



$$W = KT^4$$

55

Pirómetros de Radiación

- Los pirómetros se clasifican en dos tipos:

1. Banda angosta
2. Banda amplia

Como el nombre lo sugiere, los pirómetros se clasifican basados en el rango del espectro electromagnético que cubren.

56

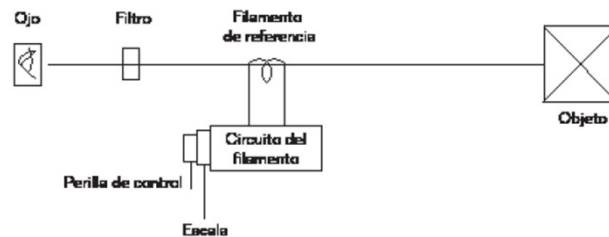
Pirómetros de Banda Angosta (ópticos)

- Conocidos como pirómetros ópticos, debido a que su uso está limitado a radiaciones de longitudes de onda de 0.35 a 0.75 micras.
- Hay dos tipos de pirómetros de banda estrecha: el pirómetro óptico manual y el pirómetro óptico automático.

57

Pirómetros de Banda Angosta (ópticos)

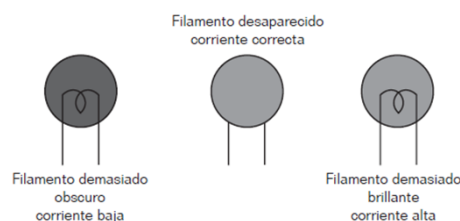
- **Pirómetro óptico manual:** este tipo de equipo requiere que un operador compare la brillantez del objeto que es medido contra la referencia. Su uso por lo tanto está restringido a las longitudes de onda a las cuales responde el ojo humano (espectro visible).



58

Pirómetros de Banda Angosta (ópticos)

- Proporciona lecturas correctas arriba de los 1500 °C, su uso normalmente se restringe a aplicaciones específicas tales como la medición de la temperatura promedio dentro de un recinto calentado uniformemente (un horno), en este tipo de aplicación puede esperarse un error entre 4 y 8 °C en la medición.



59

Pirómetros de Banda Angosta (ópticos)

- Es flexible, fácil de usar, ligero y portátil, puede usarse para medir temperaturas de objetos móviles y que estén relativamente lejos.
- No se puede usar para medir la temperatura de gases de combustión limpios que no irradian energía visible. Esto significa que no son adecuados para medir la temperatura de objetos con temperaturas menores de los 800 °C.

60

Pirómetros de Banda Angosta (ópticos)

- **Pirómetro óptico automático:** este elemento es similar al anterior. La diferencia es que la electrónica sustituye al elemento humano y las temperaturas medidas son automáticamente controladas y registradas.
- La radiación del objeto y la radiación de referencia inciden en un demodulador. Éste es un dispositivo en forma de disco ranurado giratorio que alternadamente deja pasar la radiación del objeto y después la de referencia hacia el filtro. El filtro a su vez, deja pasar la radiación de la longitud de onda seleccionada.

61

Pirómetros de Banda Angosta (ópticos)

- La señal del detector es enviada al preamplificador. Este circuito incrementa o decrementa la intensidad de radiación del filamento hasta que éste iguale a la del objeto. La corriente a través del filamento es una medición de la temperatura del blanco y esta es enviada hacia el indicador o registrador de temperatura.

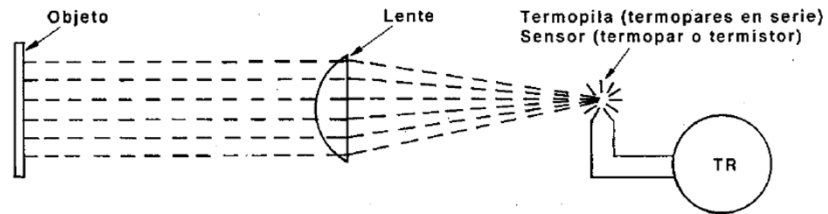
62

Pirómetros de Banda Ancha (radiación e infrarrojos)

- También llamados pirómetros de radiación y pirómetros infrarrojos. Teóricamente puede responder a todas las longitudes de onda emitidas por un objeto, pero debido a que la mayor parte de la radiación se encuentra en las porciones visible e infrarroja del espectro, los pirómetros de banda amplia sólo miden prácticamente la radiación de estas longitudes de onda, para obtener una aproximación razonable de la radiación total emitida.

63

Pirómetros de Banda Ancha (radiación e infrarrojos)



64

Pirómetros de Banda Ancha (radiación e infrarrojos)

Estos pirómetros están formados por:

- Un sistema óptico (unos lentes) para enfocar la energía irradiada por el blanco sobre un elemento detector.
- Un detector (una termopila, fotocelda u otro dispositivo), cuya salida sea una señal eléctrica que varía con la temperatura.
- Un indicador, registrador o controlador de temperatura que responde a la señal del detector.

65

Pirómetros de Banda Ancha (radiación e infrarrojos)

- Los pirómetros infrarrojos modernos entregan una lectura digital, además de amplificar y linealizar una señal de voltaje.
- Son bastante sensibles a cualquier obstrucción en la línea de vista entre el pirómetro y el blanco. No pueden ser utilizados cuando el infrarrojo sea atenuado por vapor de agua, polvo u otras partículas que estén en el aire.
- Los pirómetros de banda ancha son también sensitivos a errores de emitancia.

66

Pirómetros de Banda Ancha (radiación e infrarrojos)

- Se debe enfocar el dispositivo de tal manera que el blanco llene al lente de entrada del pirómetro, si no se llena la lente completamente con el blanco, dará una lectura incorrecta de la temperatura.
- Son también capaces de medir temperaturas más bajas que los pirómetros ópticos.
- Algunos modelos de pirómetros infrarrojos están dotados de miras laser para ayudar a focalizar el área objetivo e identificar su extensión en función de la distancia entre el cuerpo y el sensor.



67

Pirómetros de Banda Ancha (radiación e infrarrojos)

- Una de las ventajas de un pirómetro pasabanda es que éste elimina los errores del instrumento causados por vapores y partículas en el aire. Las sustancias son invisibles a radiaciones con longitudes de onda menores de 1.2μ y por lo tanto, no se tendrá problema si se usa un pirómetro con pasabanda menor que este valor.

68

Lecturas Pirómetros de radiación

- **Corrección en la lectura:**

Las mediciones que se hacen por medio de los pirómetros de radiación son exactas tan solo en el caso de que el cuerpo cuya temperatura se mide, radie como un cuerpo negro.

En la realidad la mayoría de los cuerpos calientes no radian como cuerpos negros, la temperatura es inferior a la temperatura absoluta verdadera y por lo tanto es necesaria una corrección en la lectura en los pirómetros de radiación total.

69

Lecturas Pirómetros de radiación

La corrección que se realiza es:

$$T_v = T_1 / \sqrt[4]{\epsilon_t}$$

en donde:

T_1 = temperatura absoluta leída por el pirómetro en °K

T_v = temperatura absoluta verdadera del cuerpo que se mide °K

ϵ_t = potencia emisiva total (factor de absorción o potencia de radiación)

70

Lecturas Pirómetros de radiación

Por medio de un pirómetro de radiación total, se mide 1407°C, y se sabe que el factor de absorción total es de $\epsilon_t=0.0441$, ¿cuál será la temperatura correcta?

Inicialmente se cambian los 1407°C a °K

$$T_1 + 273 = 1407 + 273 = 1680^\circ\text{K}$$

$$T_v = 1680 / \sqrt[4]{0.5} = 1680 / 0.84 = 2,000^\circ\text{K}$$

Si transformamos de °K a °C

$$T_v = 2,000 - 273 = 1,727^\circ\text{C}$$

71

Pirómetros

- Para la selección de un pirómetro se debe tener en cuenta factores tales como:
- Respuesta al espectro, emisividad, rango de temperatura, montaje (fijo o portátil), medio ambiente, limitaciones de montaje (se pueda ver perfectamente el objetivo a medir),

72

Pirómetros

- Ventajas: es un elemento que no está en contacto con el material (fluido o cuerpo), maneja una buena repetibilidad y velocidad de respuesta.
- Desventajas: costoso, no es un elemento lineal y en ocasiones es difícil determinar la temperatura exacta por emisividad ya que el medidor se ve afectado por la emisividad de otros cuerpos.

73

Calibración

- A nivel industrial se utiliza la comparación directa entre el sensor de trabajo con un patrón certificado en uno o varios puntos, al sumergirlos en un baño termostático.
- Para termopares y RTD's estándar, la salida se compara con las tablas de la norma ITS 90 (se debe usar un multímetro calibrado para tomar estas lecturas). Cabe recordar que los elementos primarios no se ajustan.

74

Calibración

- Para pirómetros se utilizan cavidades calientes a temperatura controlada que semejan la emisión de un cuerpo negro. La lectura del pirómetro debe coincidir con la temperatura seleccionada en el patrón.



75

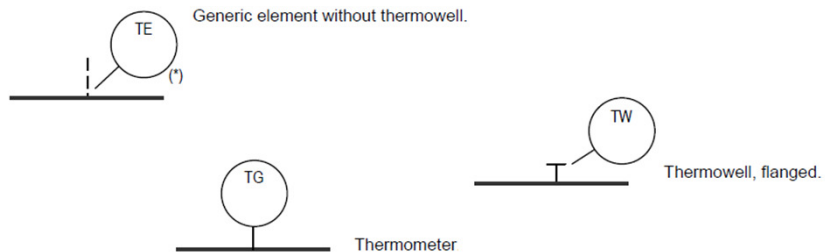
Selección

Elemento	Ventajas	Desventajas
Termopar	No necesita alimentación. Simple, robusto, barato. Amplia variedad. Amplios rangos (-185 a 2800 °C).	No lineal en amplios rangos. Baja salida en voltaje. Requiere compensación de punta fría. Poco estable y sensible a ruido.
RTD	Más estable y preciso. Más lineal que el termopar (platino). Rangos intermedios (-50 a 500 °C)	Caro. Frágil. Requiere alimentación. Baja sensibilidad.
Termistor	Alta sensibilidad. Alta velocidad de respuesta.	No lineal. Rangos estrechos (-50 a 300 °C). Frágiles.
Circuito integrado	Muy lineal. Barato. Alta sensibilidad.	Rangos estrechos (-55 a 200 °C) Baja velocidad de respuesta. Requiere alimentación. Poca variedad comercial.

76

Norma ISA S5.1-R2009

Temperature							
BM	= Bi-metallic	RTD	= Resistance temp detector	TCK	= Thermocouple type K	TRAN	= Transistor
IR	= Infrared	TC	= Thermocouple	TCT	= Thermocouple type T		=
RAD	= Radiation	TCE	= Thermocouple type E	THRM	= Thermistor		=
RP	= Radiation pyrometer	TCJ	= Thermocouple type J	TMP	= Thermopile		=



Referencias

- Creus Sole, Antonio. Instrumentación industrial. Editorial Marcombo, sexta edición.
- Rivera Mejía, José. Instrumentación. Editorial Trillas, 2007.
- Wolf, Stanley y Smith F. Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio. Editorial Prentice Hall, segunda edición.
- González, Carlos. Metrología. Editorial Mc Graw Hill.
- Cooper, William. Instrumentación Electrónica y mediciones
- González, Carlos. Metrología. Editorial Mc Graw Hill.
- Catálogos de fabricantes
- Posada, N. (2008). Curso de sensores. Notas de clase especialización en automática. UPB.