

TRANSDUCTORES Y SENSORES 2021

Ing. Biomédica
Ing. Electrónica

Unidad II : TEMPERATURA

Temario:

Conceptos físicos

Unidades y escalas

Principales tecnologías

Calibración

Criterios de selección

Aplicaciones y fabricantes

Bibliografía recomendada



CONCEPTOS FÍSICOS

III Conceptos físicos de temperatura

La temperatura (T^0 de ahora en mas) para abbreviar) es una medida macroscópica de la energía cinética de las moléculas:

$$Ec = \frac{1}{2} mV^2 = \frac{3}{2} k T^\circ \left(k = \frac{R}{nV} = \text{constante} \right)$$

Los humanos detectamos el flujo de calor través de la piel. Si el calor entra, lo percibimos como “caliente”, si sale, como “frío”. Este flujo depende de la diferencia de T^0 entre nosotros y el objeto y de su conductividad. Por eso, a igualdad de T^0 percibimos el metal como mas fio que la madera.

III Conductividad térmica

La **conductividad térmica** (κ) es una propiedad de los materiales que valora la capacidad de transmitir el calor a través de ellos, es alta en conductores (metales) y baja en aislantes (madera, plástico, vidrio).

Se define como: la cantidad de calor necesario por m^2 , para que atravesando durante 1 seg, 1 m de material homogéneo obtenga una diferencia de 1 $^{\circ}C$ de T° entre las dos caras.

Ley de Fourier: $dQ/dt = -kS.dT/dx$

Es una propiedad intrínseca de cada material que varía en función de la T° a la que se hace la medida, por lo que suelen hacerse a 300 K para poder comparar.

Tabla de conductividades térmicas

Conductividades térmicas de diversos materiales en W/(K·m)

Material	κ	Material	κ	Material	κ
<u>Acero</u>	47-58	<u>Corcho</u>	0,03-0,04	<u>Mercurio</u>	83,7
<u>Agua</u>	0,58	<u>Estaño</u>	64,0	<u>Mica</u>	0,35
<u>Aire</u>	0,02	<u>Fibra de vidrio</u>	0,03-0,07	<u>Níquel</u>	52,3
<u>Alcohol</u>	0,16	<u>Glicerina</u>	0,29	<u>Oro</u>	308,2
<u>Alpaca</u>	29,1	<u>Hierro</u>	80,2	<u>Parafina</u>	0,21
<u>Aluminio</u>	237	<u>Ladrillo</u>	0,80	<u>Plata</u>	406,1-418,7
<u>Amianto</u>	0,04	<u>Ladrillo refractario</u>	0,47-1,05	<u>Plomo</u>	35,0
<u>Bronce</u>	116-186	<u>Latón</u>	81-116	<u>Vidrio</u>	0,6-1,0
<u>Zinc</u>	106-140	<u>Litio</u>	301,2	<u>Cobre</u>	372,1-385,2
<u>Madera</u>	0,13	<u>Tierra húmeda</u>	0,8	<u>Diamante</u>	2300
<u>Titanio</u>	21,9				

III Sensación térmica

La *sensación térmica (ST)* es función no sólo de la temperatura, sino también de la humedad y el viento. La misma es igual a la temperatura ambiente cuando la humedad es de aproximadamente el 65% y el viento de 0 km/h.

Viento: reduce la ST debido a la pérdida de calor por convección.

Humedad: el aire húmedo disminuye la conductividad (más difícil evacuar calor del cuerpo).

- Con Tº ambiente alta: si es mayor al 65%, produce un incremento de la ST, y si es menor al 65%, un descenso de la ST.
- Con baja Tº ambiente: al contrario, si es mayor al 65% baja la ST, y si es menor al 65%, sube la ST.

Sensación térmica vs viento

Sensación térmica vs viento

		TEMPERATURA DEL AIRE EN GRADOS CELSIUS (C)																	
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
HUMEDAD RELATIVA (%)	45	27	28	29	30	32	33	35	37	39	41	43	46	49	51	54	57	61	64
	50	27	28	30	31	33	34	36	38	41	43	46	49	52	55	58	62		
	55	28	29	30	32	34	36	38	40	43	46	48	52	55	59	62			
	60	28	29	31	33	35	37	40	42	45	48	51	55	59	63				
	65	28	30	32	34	36	39	41	44	48	51	55	59	63					
	70	29	31	33	35	38	40	43	47	50	54	58	63						
	75	29	31	34	36	39	42	46	49	53	58	62							
	80	30	32	35	38	41	44	48	52	57	61								
	85	30	33	36	39	43	47	51	55	60	65								
	90	31	34	37	41	45	49	54	58	64									
	95	31	35	38	42	47	51	57	62										
	100	32	36	40	44	49	54	60											
efecto adicional		REFRIGERACION DE CONDENSACION DEL CUERPO HUMANO EXPUESTO AL VIENTO SIN LA APROPIADA VESTIMENTA																	

Sensación térmica vs humedad



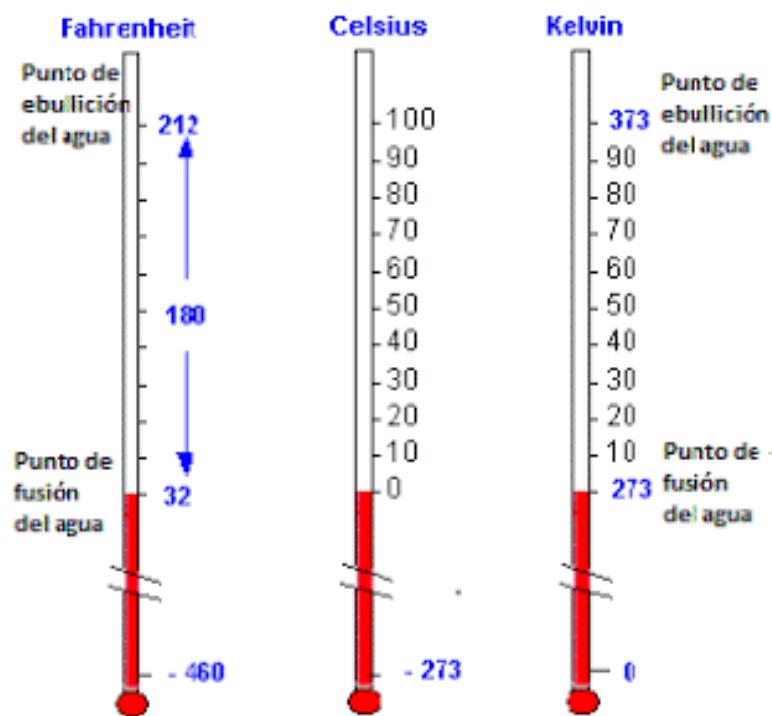
UNIDADES Y ESCALAS

Escalas:

- 1592 Galileo: primer termómetro
- 1700 Gabriel Fahrenheit: dos puntos
 - hielo + sal = 0°
 - temp. Cuerpo humano = 96°
- 1742 Anders Celsius:
 - derretimiento hielo = 100°
 - ebullición agua = 0°
- 1948 Se oficializa escala Celsius
- ~1800 Lord William Thomson (Lord Kelvin) escala termodinámica universal = cero absoluto.

Conversión de escalas:

- $T_a(^{\circ}K) = T(^{\circ}C) + 273.15$
- $T_a(^{\circ}R) = T(^{\circ}F) + 459.67$
- $^{\circ}F = 32 + \frac{9}{5} ^{\circ}C$
- $^{\circ}C = \frac{5}{9} (^{\circ}F - 32)$
- $^{\circ}R = \frac{9}{5} ^{\circ}K$



1968 IPTS (International Practical Temperature Scale) : 11 puntos fijos

Equilibrium Conditions	T ₉₀ / K	t ₉₀ / °C
Vapor pressure of Helium	3...5	-270.15...-268.15
Triple point of equilibrium Hydrogen	13.8033	-259.3467
Vapor pressure of equilibrium Hydrogen (329 hPa) (1022 hPa)	~ 17 ~ 20.3	~ -256.15 ~ -252.85
Triple point of Neon	24.5561	-248.5939
Triple point of Oxygen	54.3584	-218.7916
Triple point of Argon	83.8058	-189.3442
Triple point of Mercury	234.3156	-38.8344
Triple point of Water	273.16	0.01
Melting point of Gallium	302.9146	29.7646
Solidification point of Indium	429.7485	156.5985
Solidification point of Tin	505.078	231.928
Solidification point of Zinc	692.677	419.527
Solidification point of Aluminum	933.473	660.323
Solidification point of Silver	1234.93	961.78
Solidification point of Gold	1337.33	1064.18
Solidification point of Copper	1357.77	1084.62



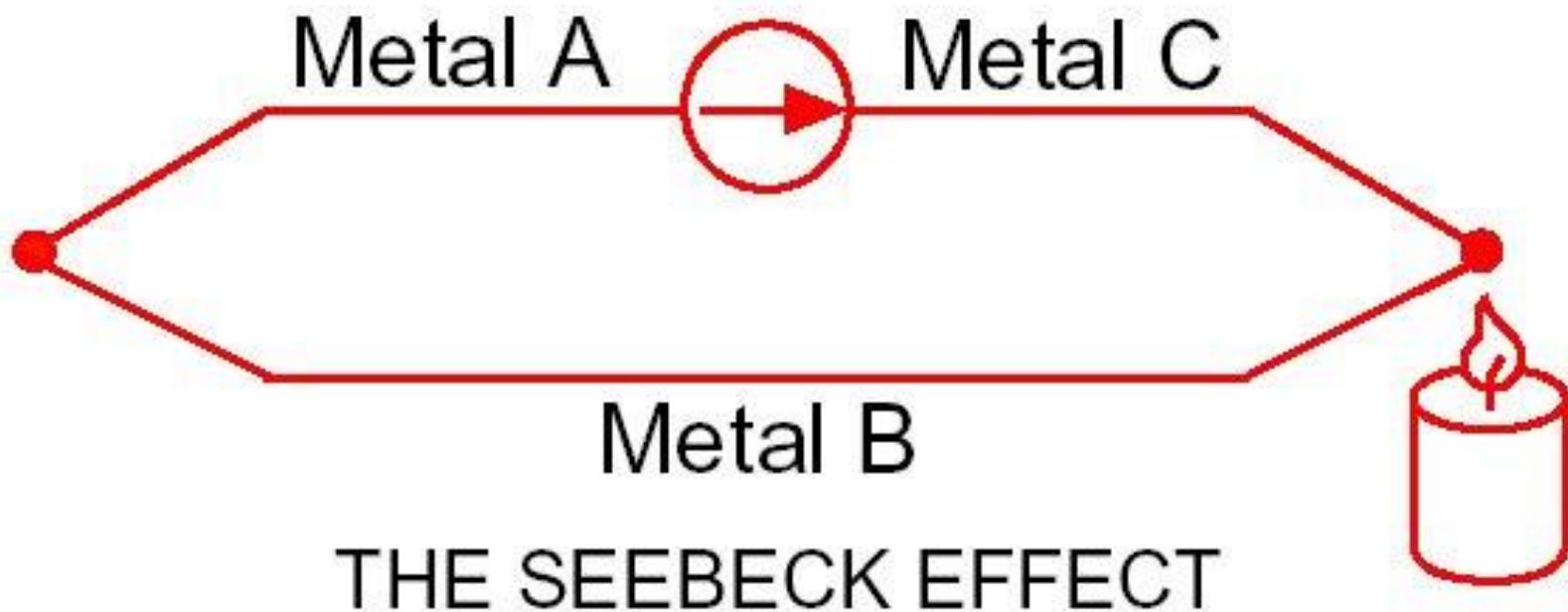
PRINCIPALES TECNOLOGÍAS

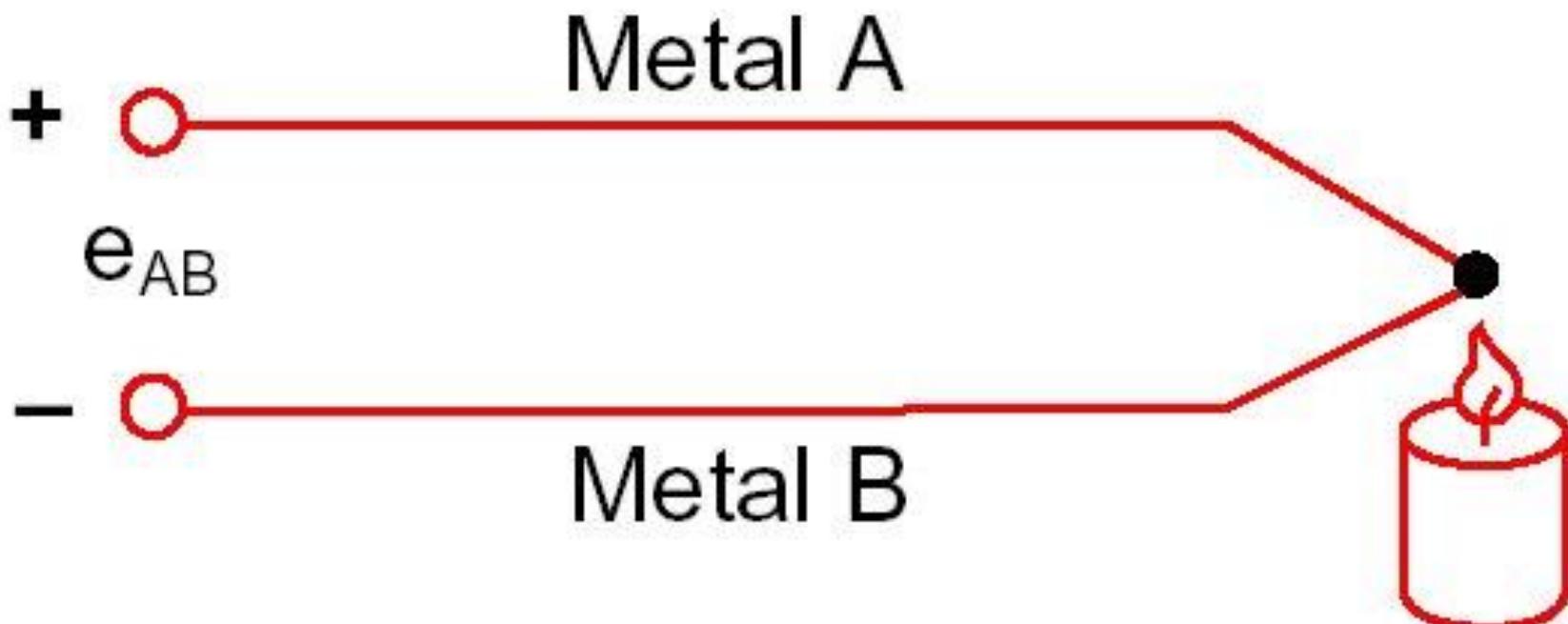
III Tipos de transductores

- 1 - Termocuplas
- 2 - RTD's y termistores
- 3 - Infrarrojos
- 4 - Dispositivos bimetálicos
- 5 - Dispositivos de expansión
- 6 - Dispositivos de cambio de estado

III 1. Termocuplas (termopares)

Principio: efecto Seebeck (1821)





e_{AB} = SEEBECK VOLTAGE

$$\Delta e_{AB} = \alpha \Delta T$$

III 2. RTDs y termistores

Principio: dependencia de resistencia eléctrica con la temperatura (Humphrey Davy, 1821):

RTD: con metales. Relación directa, generalmente lineal.

Termistores: con cerámicos semiconductores. Relación inversa, muy alineal.

III 3. Infrarrojos

Principio: radiación térmica emitida por todos los cuerpos por encima de 0°K

III 4. Dispositivos bimétalicos

Principio: diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre metales diferentes

- Portátiles. No requieren alimentación
- No tienen mucha precisión.

III 5. Dispositivos de expansión

Principio: expansión volumétrica con aumento de T

Tipos:

- Mercurio
- Líquidos orgánicos
- Gaseosos.

III 5. Dispositivos de expansión

Sin alimentación. No riesgo eléctrico.

Estables aún con ciclos rápidos

No generan datos registrables o
transmisibles.

■ No pueden hacer medición puntual.

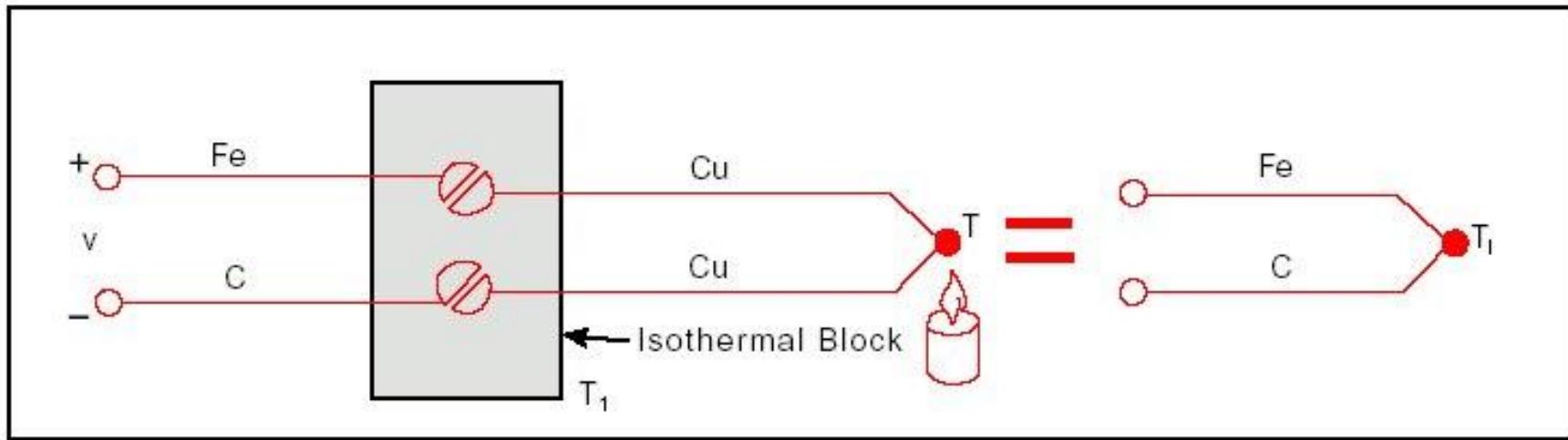
¶ 6 - Dispositivos de cambio de estado.

Principio: etiquetas, pastillas, crayones o LCD cuya apariencia cambia al alcanzar cierta temperatura.

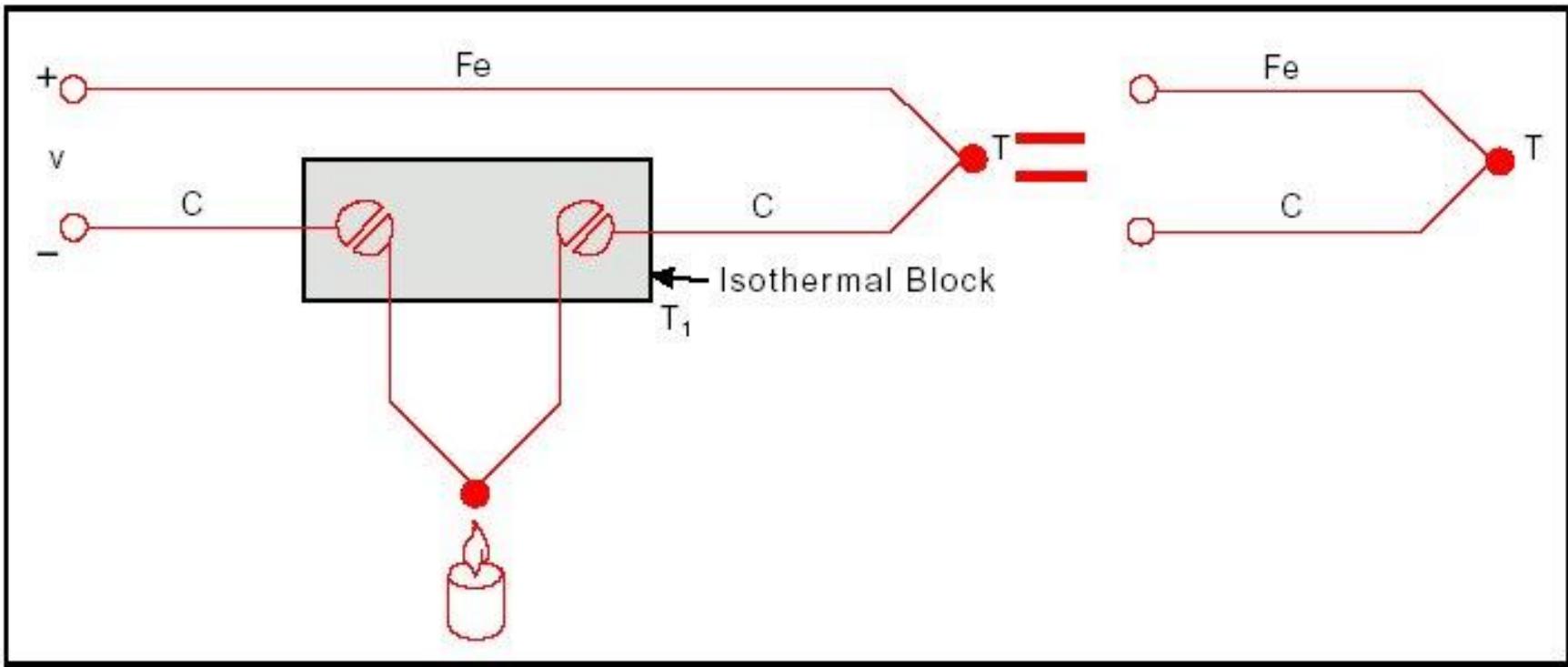
- Tiempo de respuesta lento (no apto para transitorios).
- Baja precisión.
- Tipos:
 - De cambio reversible
 - De cambio irreversible

1 - Medición de T con termocuplas.

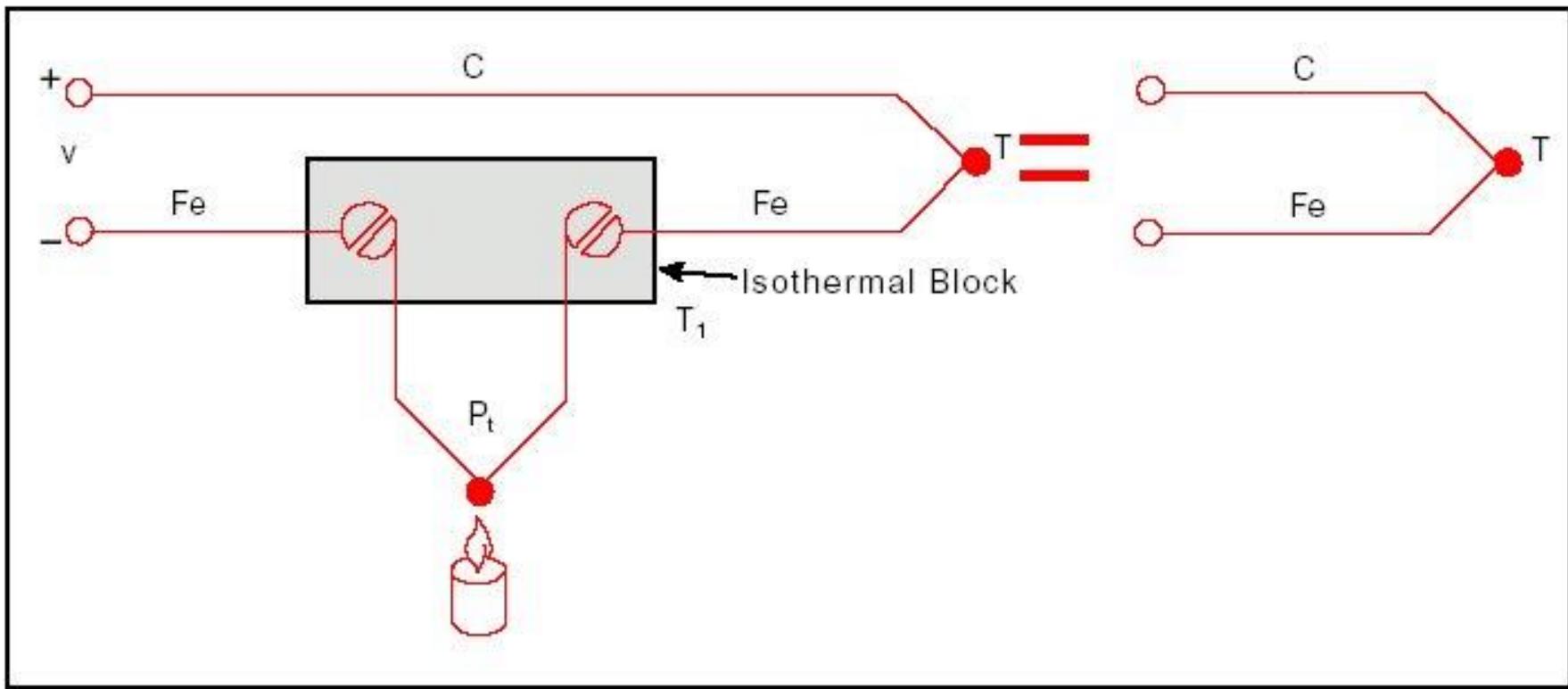
A) Leyes empíricas de las termocuplas:



THE LAW OF INTERMEDIATE METALS

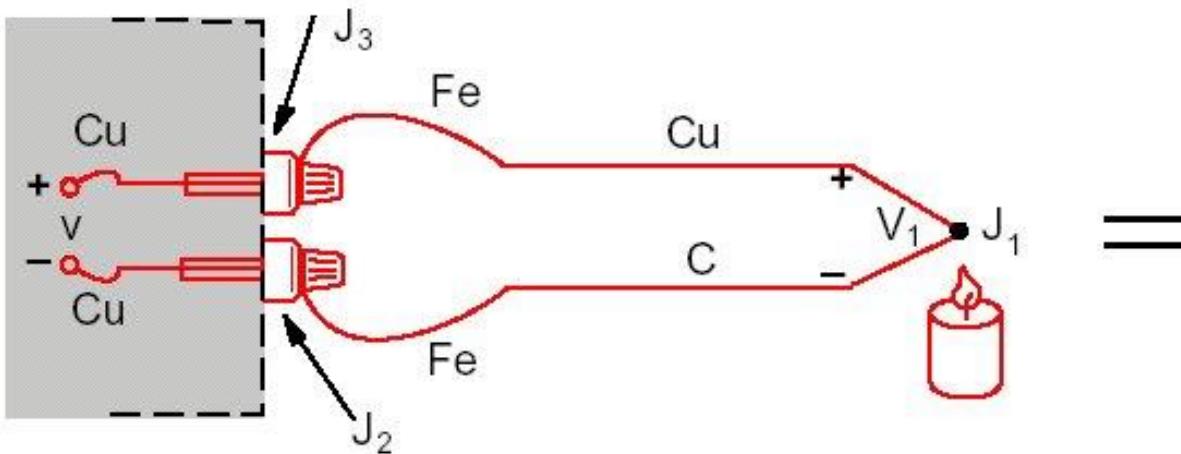


THE LAW OF INTERIOR TEMPERATURES

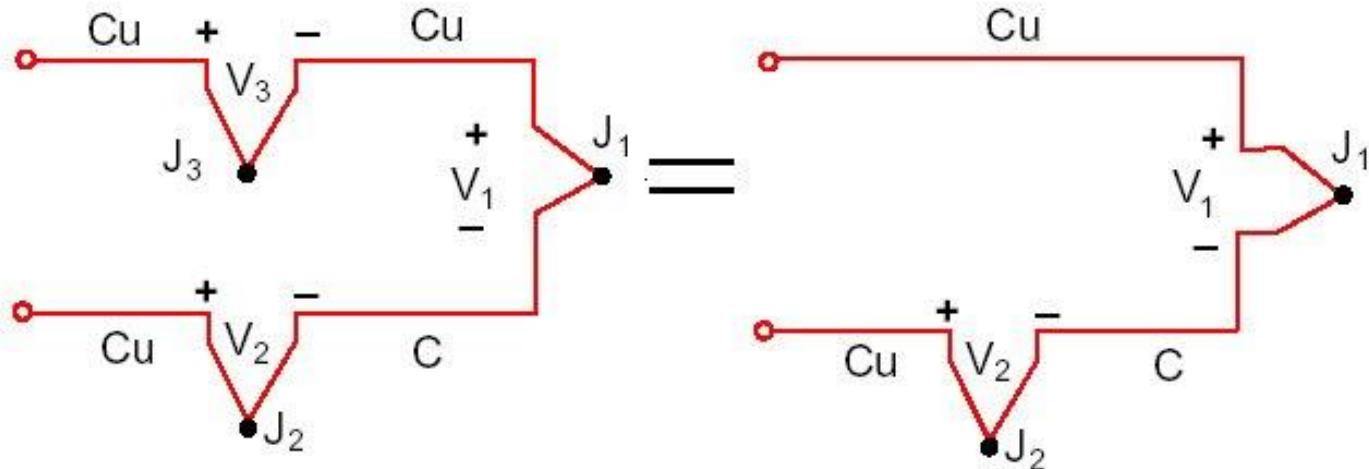


THE LAW OF INSERTED METALS

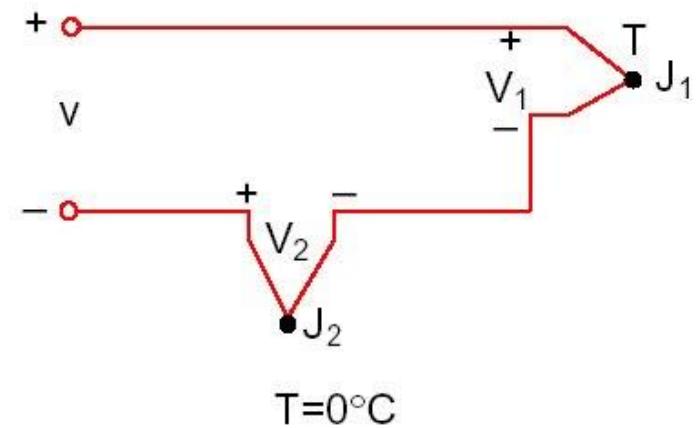
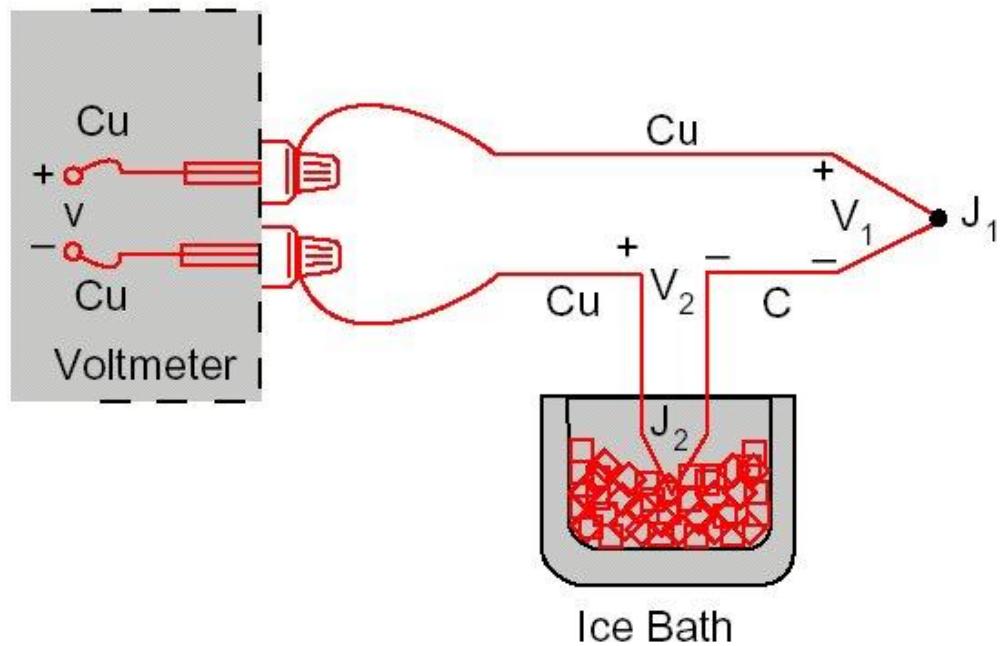
B) Medición de voltaje:



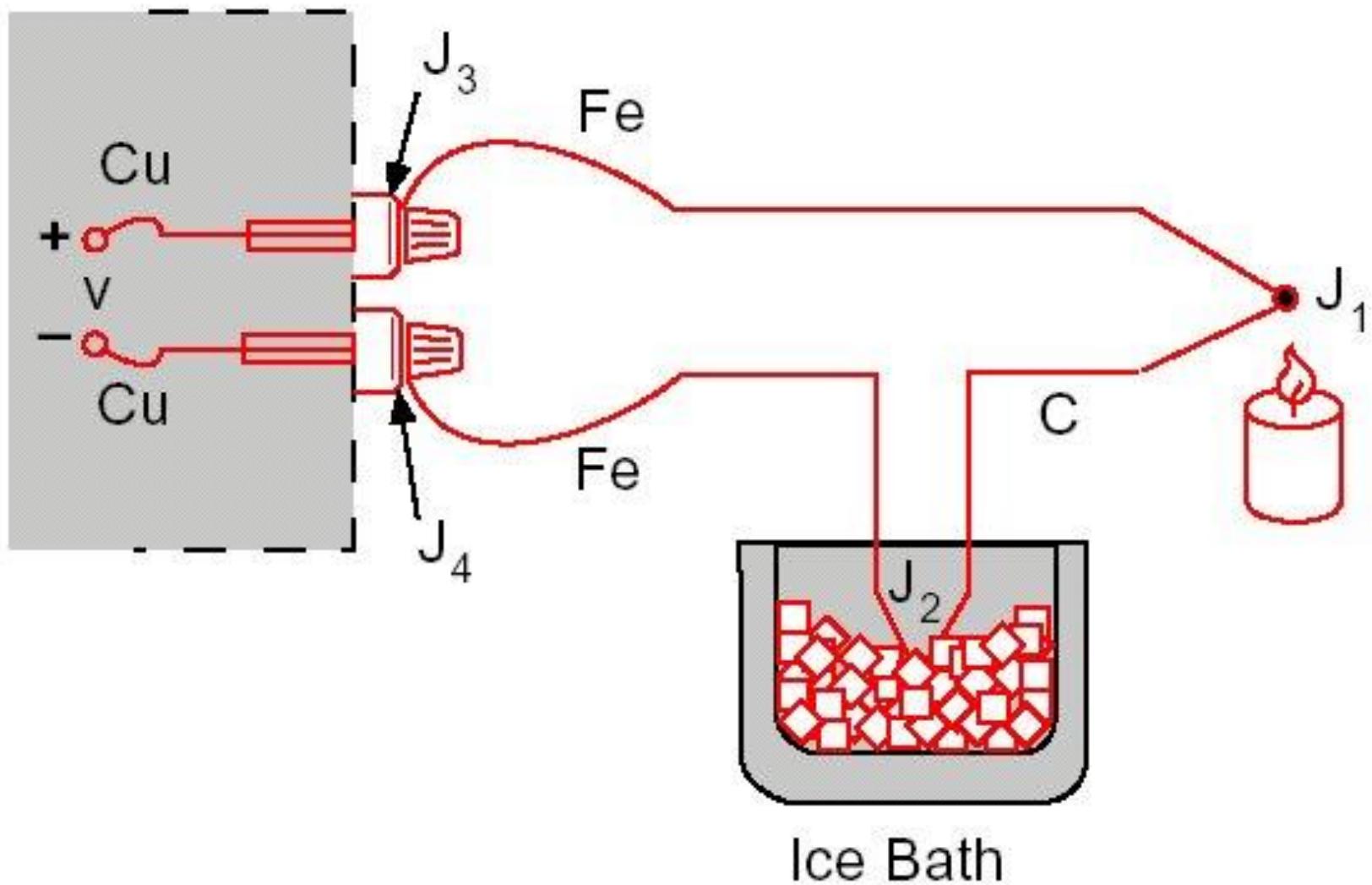
EQUIVALENT CIRCUITS



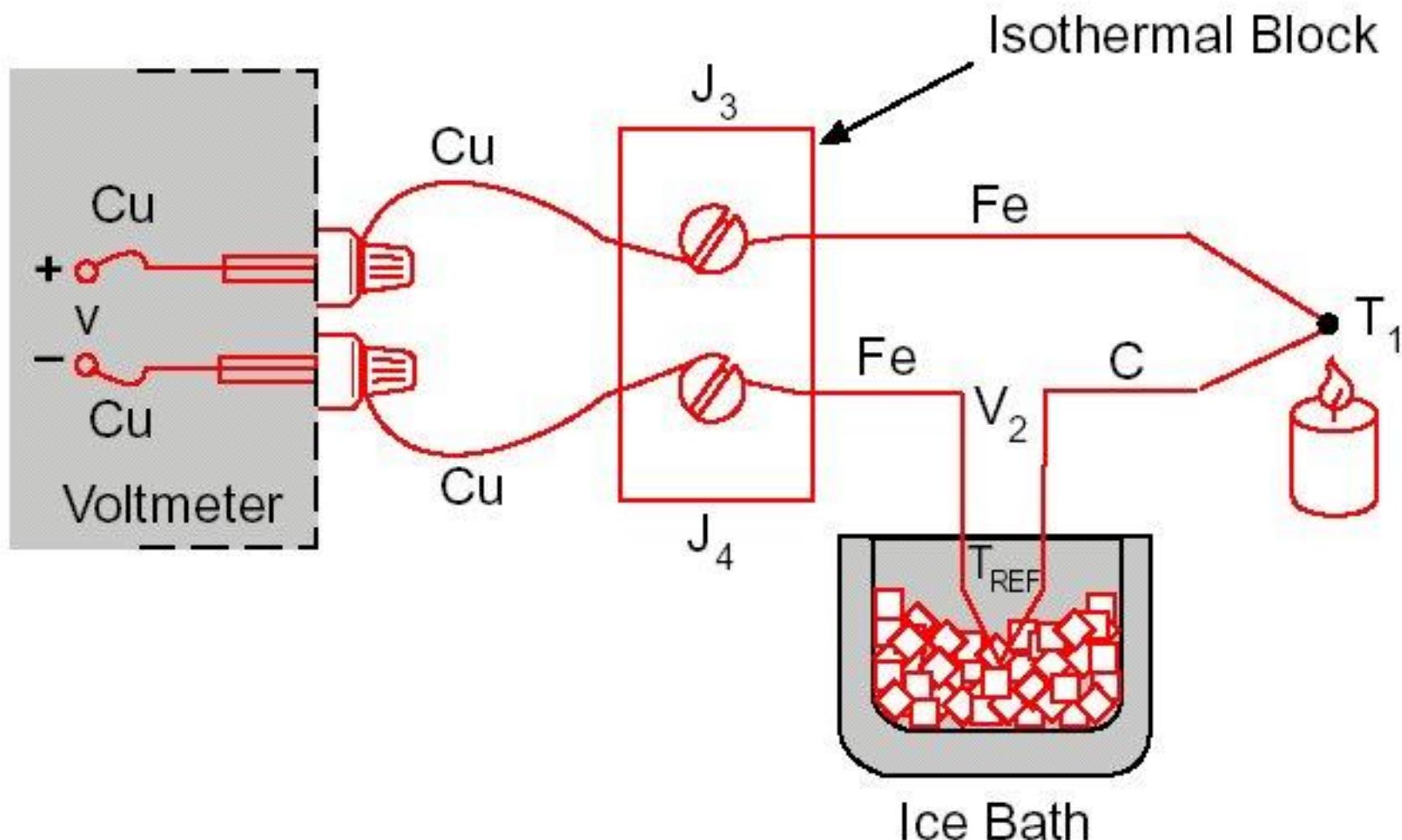
MEASURING JUNCTION VOLTAGE WITH A DVM



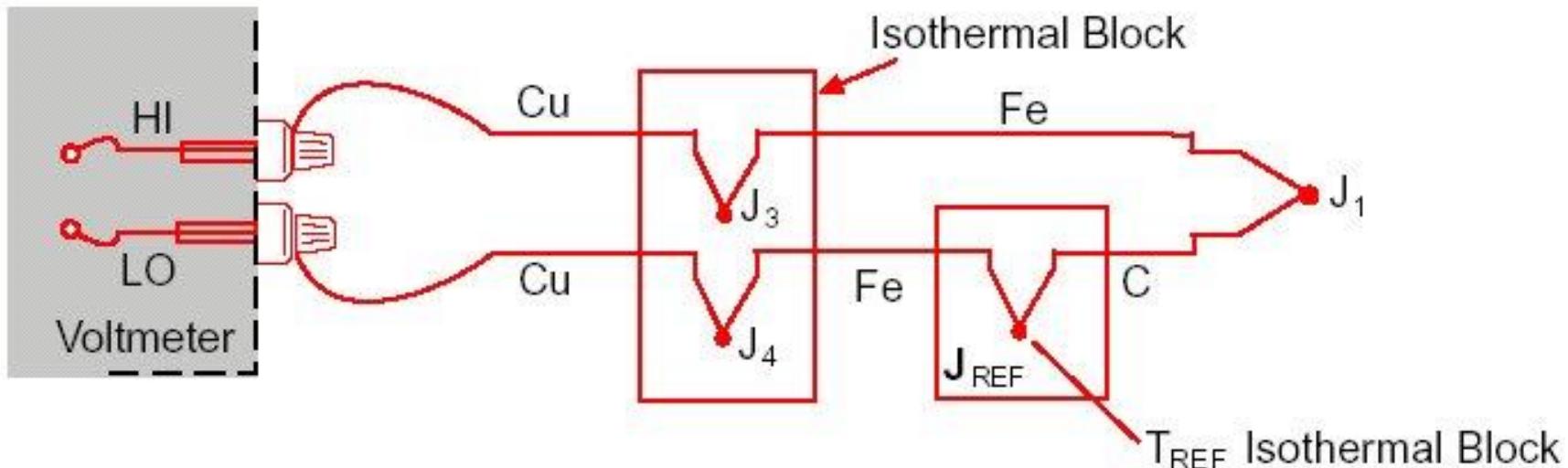
EXTERNAL REFERENCE JUNCTION



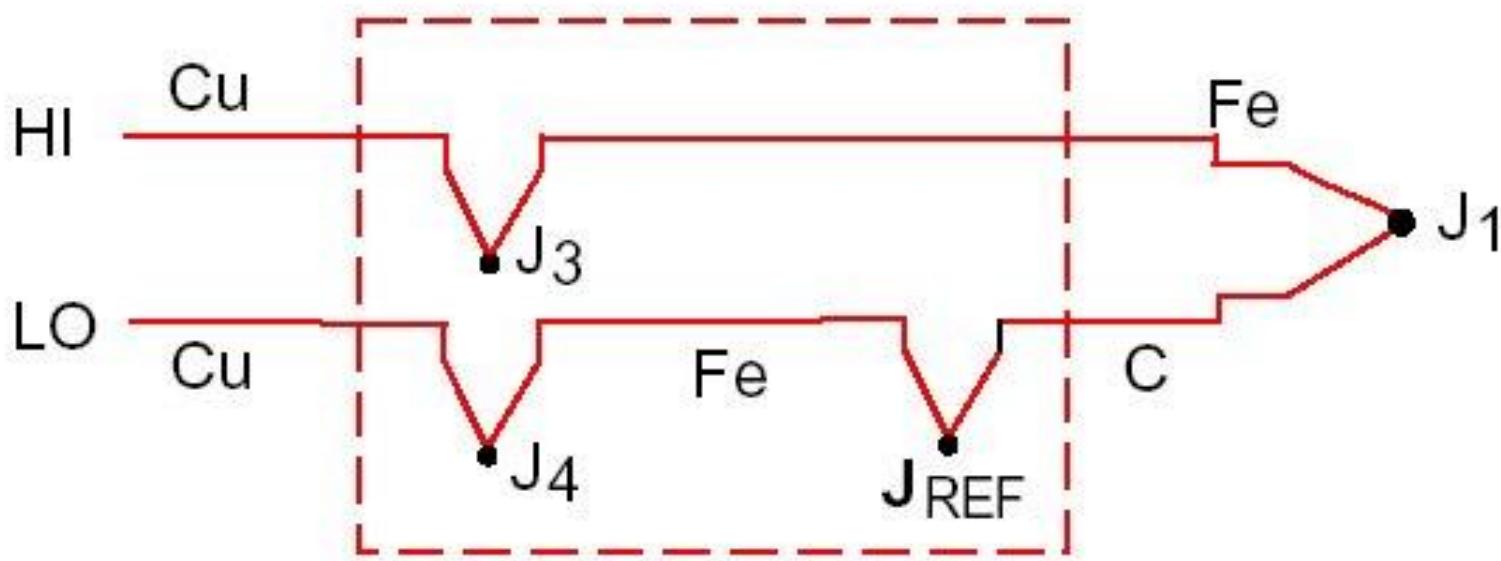
IRON-CONSTANTAN COUPLE



REMOVING JUNCTIONS FROM DVM TERMINALS

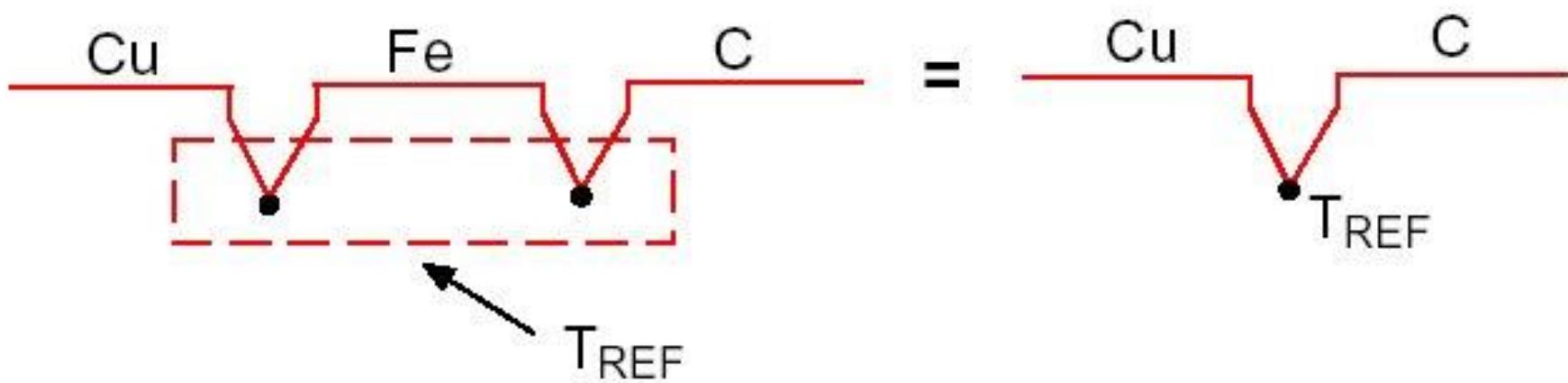
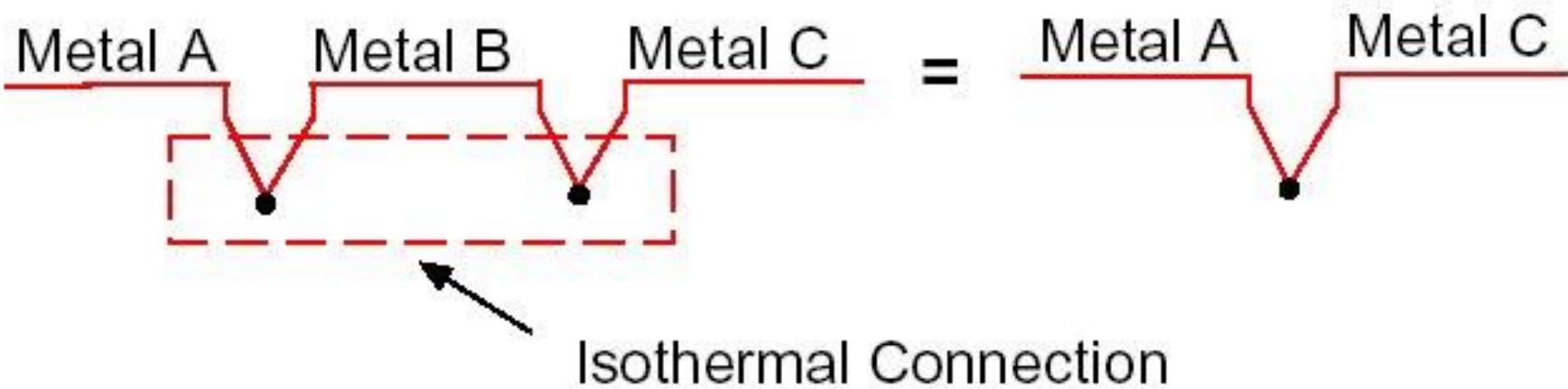


ELIMINATING THE ICE BATH

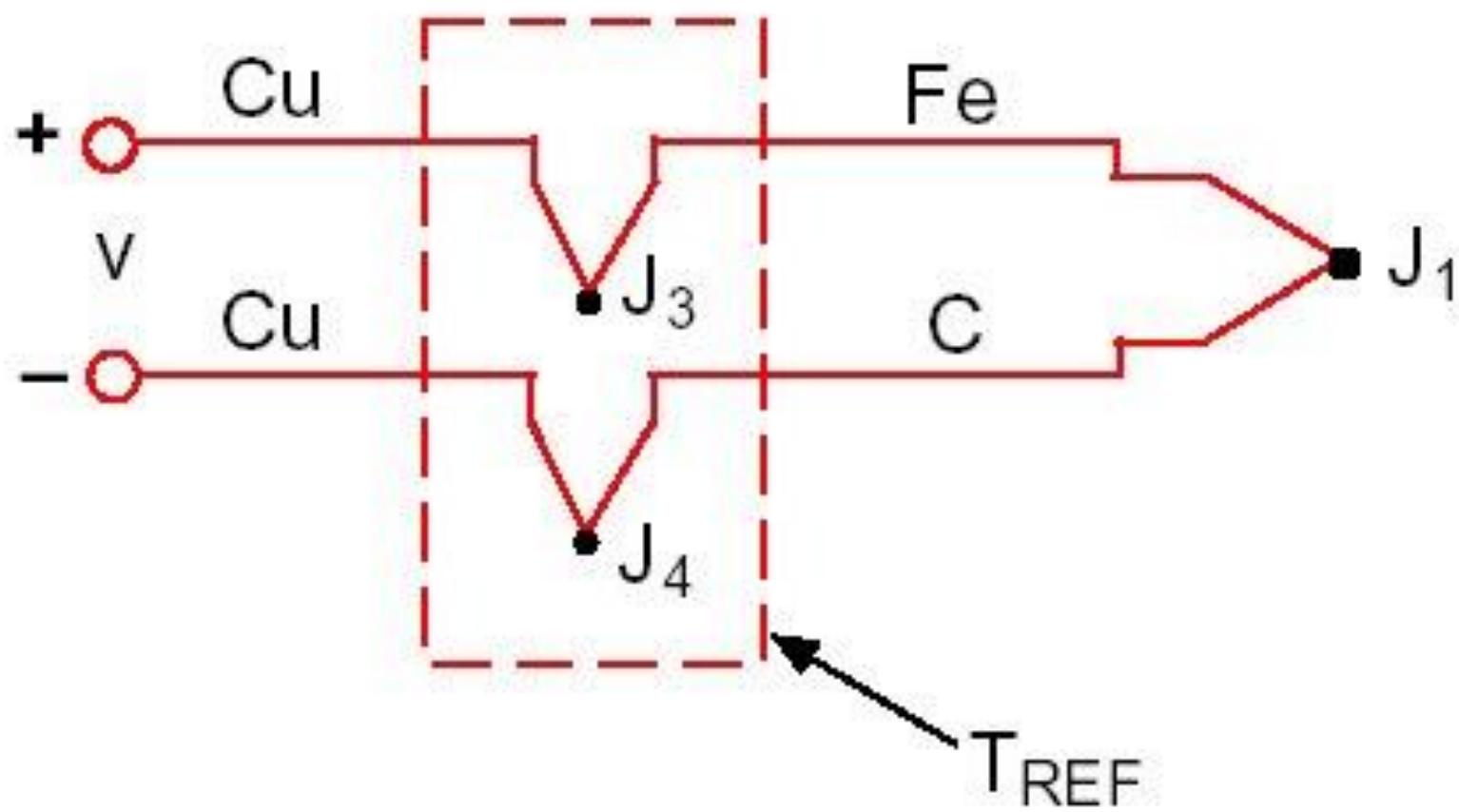


Isothermal Block @ T_{REF}

JOINING THE ISOTHERMAL BLOCKS



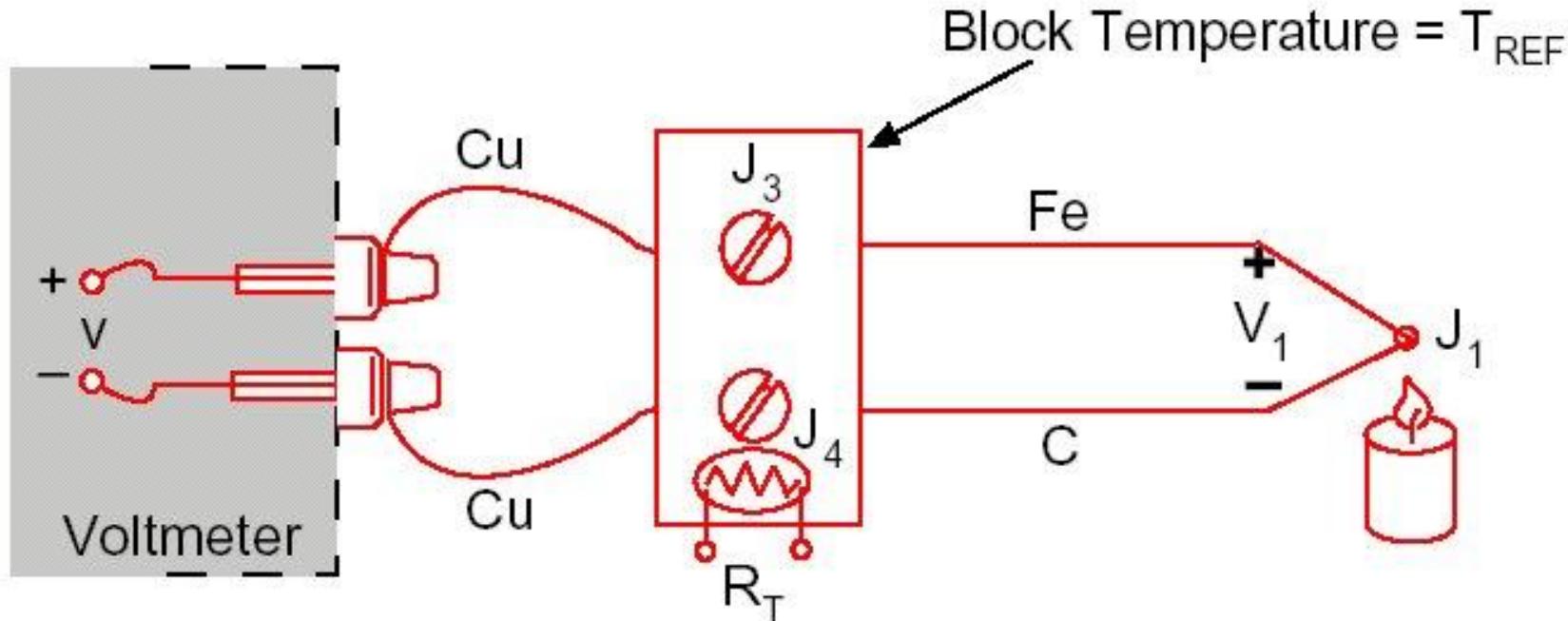
LAW OF INTERMEDIATE METALS



EQUIVALENT CIRCUIT

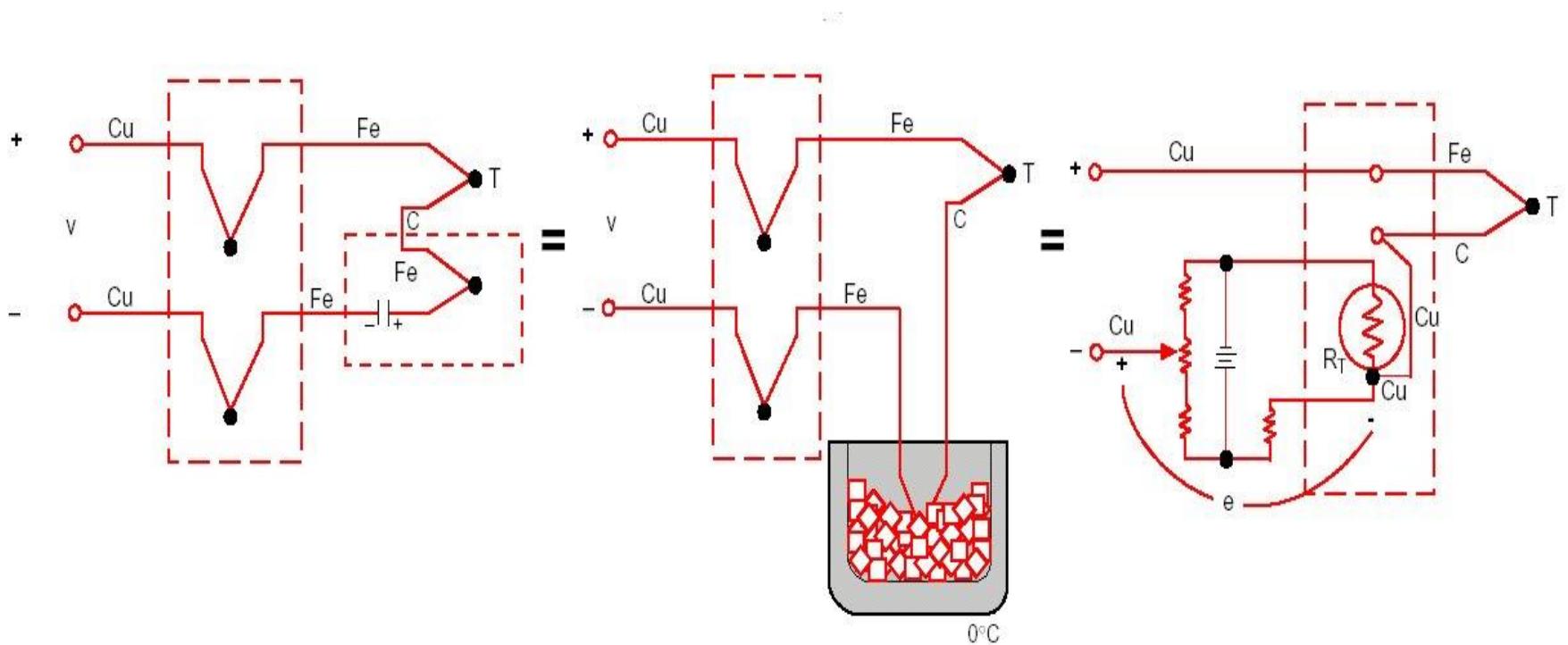
C) Compensación:

- Por software



EXTERNAL REFERENCE JUNCTION-NO ICE BATH

• Por hardware



HARDWARE COMPENSATION CIRCUIT

- Compensación por software:
 - requiere mayor tiempo de computo
 - versátil: cualquier TC
- Compensación por hardware:
 - Muy rápida
 - Restringida a un tipo de TC por placa

III D) Conversión de mV a T:

1) Polinomios:

$$T = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \dots + a_nx^n$$

where

T = Temperature

x = Thermocouple EMF in Volts

a = Polynomial coefficients unique to each thermocouple

n = Maximum order of the polynomial

	TYPE E	TYPE J	TYPE K	TYPE R	TYPE S	TYPE T
	Nickel-10% Chromium(+) Versus Constantan(-)	Iron(+) Versus Constantan(-)	Nickel-10% Chromium(+) Versus Nickel-5%(-) (Aluminum Silicon)	Platinum-13% Rhodium(+) Versus Platinum(-)	Platinum-10% Rhodium(+) Versus Platinum(-)	Copper(+) Versus Constantan(-)
a_0	-100 °C to 1000 °C ± 0.5 °C 9th order	0 °C to 760 °C ± 0.1 °C 5th order	0 °C to 1370 °C ± 0.7 °C 8th order	0 °C to 1000 °C ± 0.5 °C 8th order	0 °C to 1750 °C ± 1 °C 9th order	-160 °C to 400 °C ± 0.5 °C 7th order
a_1	0.104967248	-0.048868252	0.226584602	0.263632917	0.927763167	0.100860910
a_2	17189.45282	19873.14503	24152.10900	179075.491	169526.5150	25727.94369
a_3	-282639.0850	-218614.5353	67233.4248	-48840341.37	-31568363.94	-767345.8295
a_4	12695339.5	11569199.78	2210340.682	1.90002E + 10	8990730663	78025595.81
a_5	-448703084.6	-264917531.4	-860963914.9	-4.82704E + 12	-1.63565E + 12	-9247486589
a_6	1.10866E + 10	2018441314	4.83506E + 10	7.62091E + 14	1.88027E + 14	6.97688E + 11
a_7	-1.76807E + 11		-1.18452E + 12	-7.20026E + 16	-1.37241E + 16	-2.66192E + 13
a_8	1.71842E + 12		1.38690E + 13	3.71496E + 18	6.17501E + 17	3.94078E + 14
a_9	-9.19278E + 12		-6.33708E + 13	-8.03104E + 19	-1.56105E + 19	
	2.06132E + 13				1.69535E + 20	

TEMPERATURE CONVERSION EQUATION: $T = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$

NESTED POLYNOMIAL FORM: $T = a_0 + x(a_1 + x(a_2 + x(a_3 + x(a_4 + a_5x))))$ (5th order)
where x is in Volts, T is in °C

NBS POLYNOMIAL COEFFICIENTS

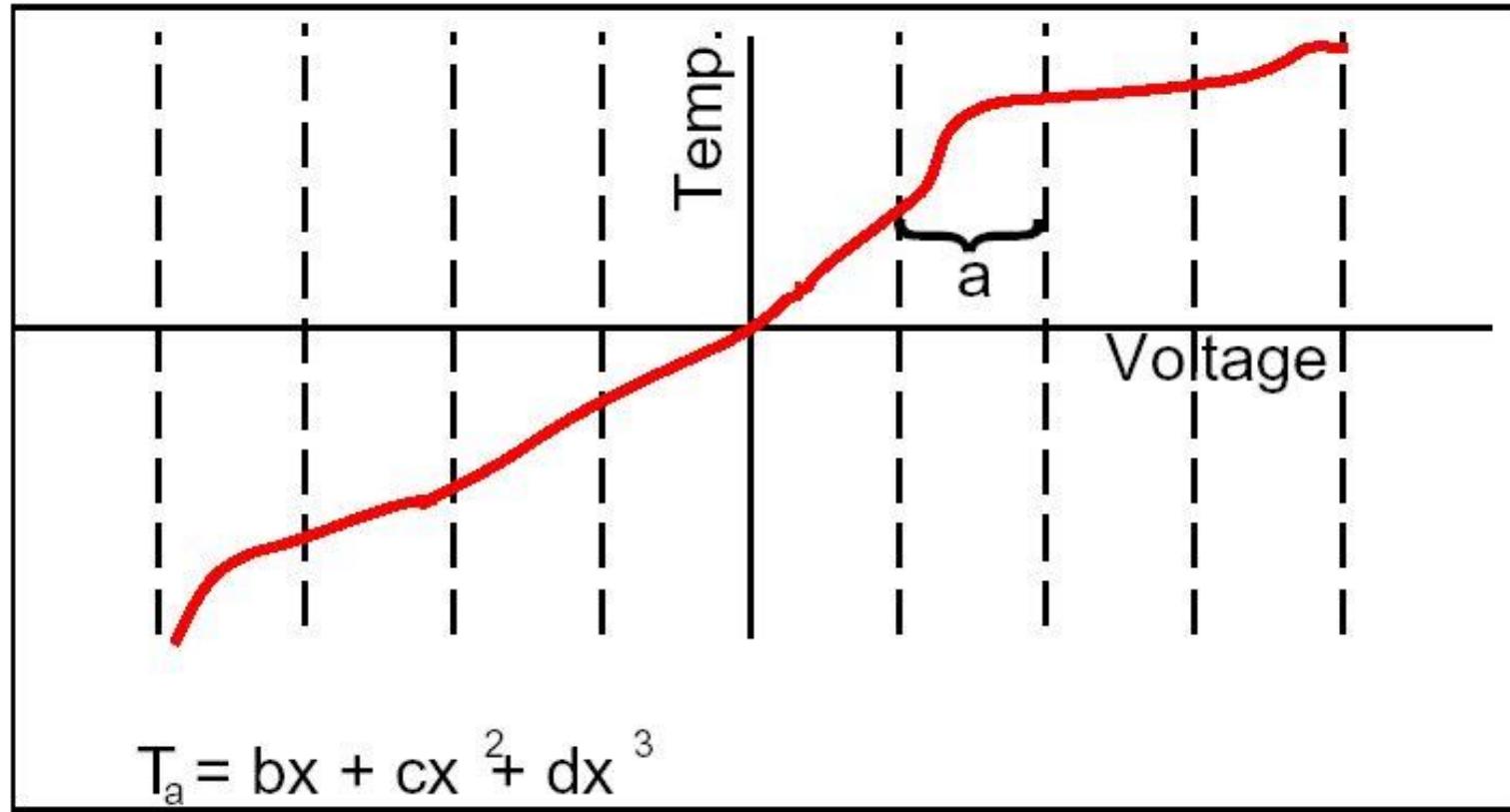
D) Conversión de mV a T:

2) Tablas:

Termocupla tipo K - Equivalencias: grados celsius - milivoltios															
°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV
0	0,00	200	8,13	400	16,40	600	24,91	800	33,30	1000	41,31	1200	48,89		
10	0,40	210	8,54	410	16,82	610	25,34	810	33,71	1010	41,70	1210	49,25		
20	0,80	220	8,94	420	17,24	620	25,76	820	34,12	1020	42,09	1220	49,62		
30	1,20	230	9,34	430	17,67	630	26,19	830	34,53	1030	42,48	1230	49,98		
40	1,61	240	9,75	440	18,09	640	26,61	840	34,93	1040	42,87	1240	50,34		
50	2,02	250	10,16	450	18,51	650	27,03	850	35,34	1050	43,25	1250	50,69		
60	2,43	260	10,57	460	18,94	660	27,45	860	35,75	1060	43,64	1260	51,05		
70	2,85	270	10,98	470	19,37	670	27,87	870	36,15	1070	44,02	1270	51,41		
80	3,26	280	11,39	480	19,79	680	28,30	880	36,55	1080	44,40	1280	51,76		
90	3,68	290	11,80	490	20,22	690	28,72	890	36,96	1090	44,78	1290	52,11		
100	4,10	300	12,21	500	20,65	700	29,14	900	37,36	1100	45,16	1300	52,46		
110	4,51	310	12,63	510	21,07	710	29,56	910	37,76	1110	45,54	1310	52,81		
120	4,93	320	13,04	520	21,50	720	29,98	920	38,16	1120	45,92	1320	53,16		
130	5,33	330	13,46	530	21,92	730	30,39	930	38,56	1130	46,29	1330	53,51		
140	5,73	340	13,88	540	22,35	740	30,81	940	38,96	1140	46,67	1340	53,85		
150	6,14	350	14,29	550	22,78	750	31,23	950	39,35	1150	47,04	1350	54,20		
160	6,54	360	14,71	560	23,20	760	31,65	960	39,75	1160	47,41	1360	54,54		
170	6,93	370	15,13	570	23,63	770	32,06	970	40,14	1170	47,78	1370	54,88		
180	7,33	380	15,55	580	24,06	780	32,48	980	40,53	1180	48,15				
190	7,73	390	15,98	590	24,48	790	32,89	990	40,92	1190	48,52				

III D) Conversión de mV a T:

3) Segmentación:



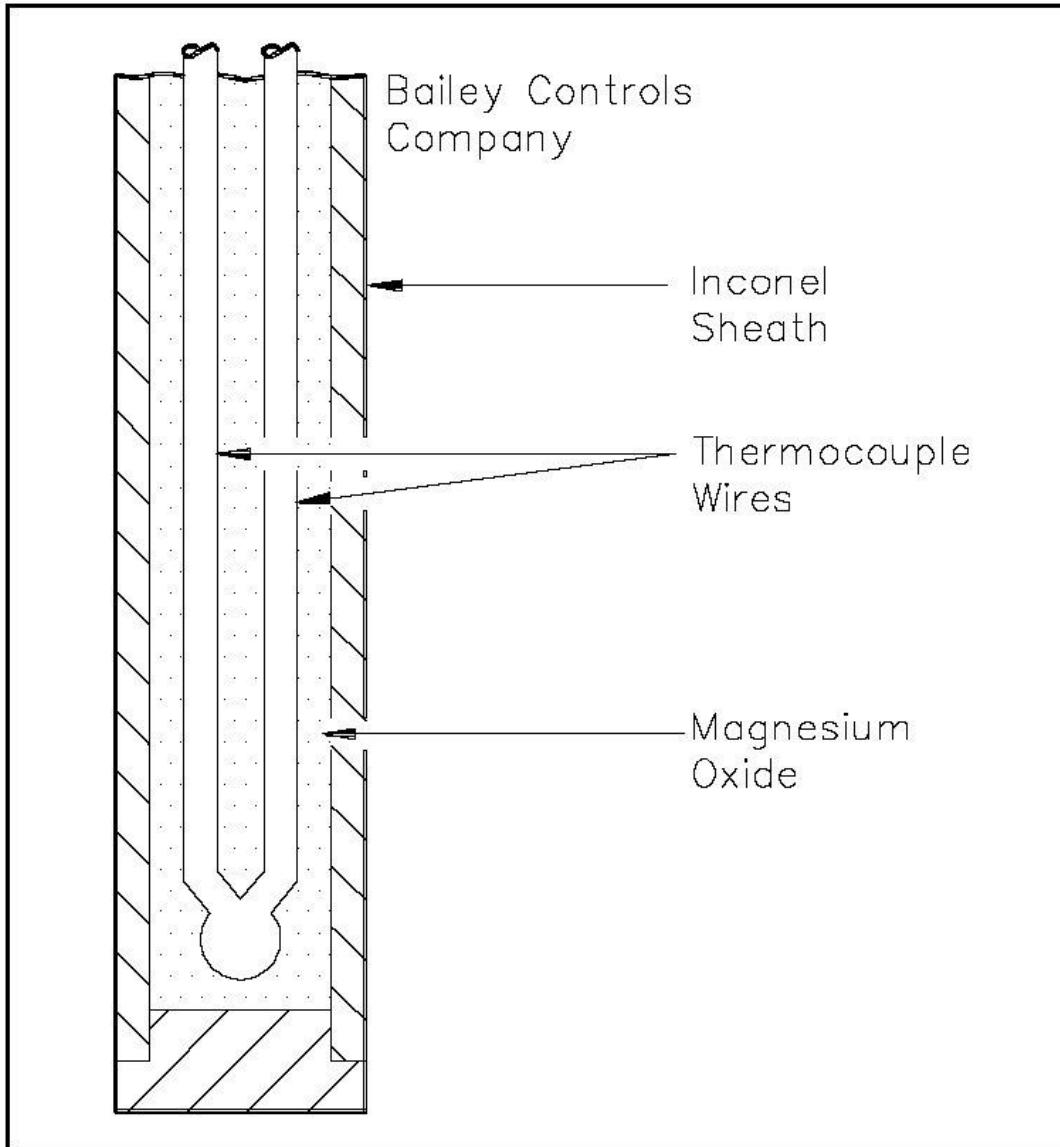
CURVE DIVIDED INTO SECTORS

E) Precauciones:

Errores en la medición debido a:

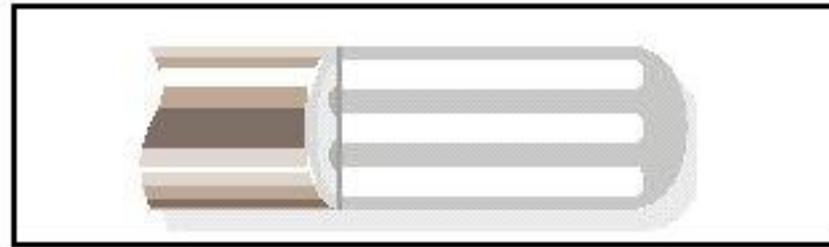
- Pobre conexión de junta
- Descalibración del cable de la TC
- Impedancia de derivación y acción galvánica
- Ruido y corrientes de pérdida
- Especificaciones de la TC
- Documentación

III F) Construcción:

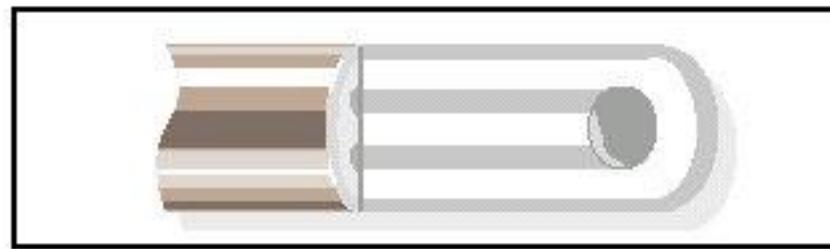


III G) Tipo de unión:

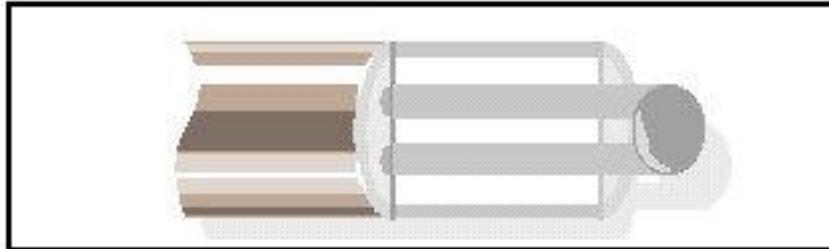
Grounded
Junction



Ungrounded
Junction



Exposed
Junction



• A Tierra:

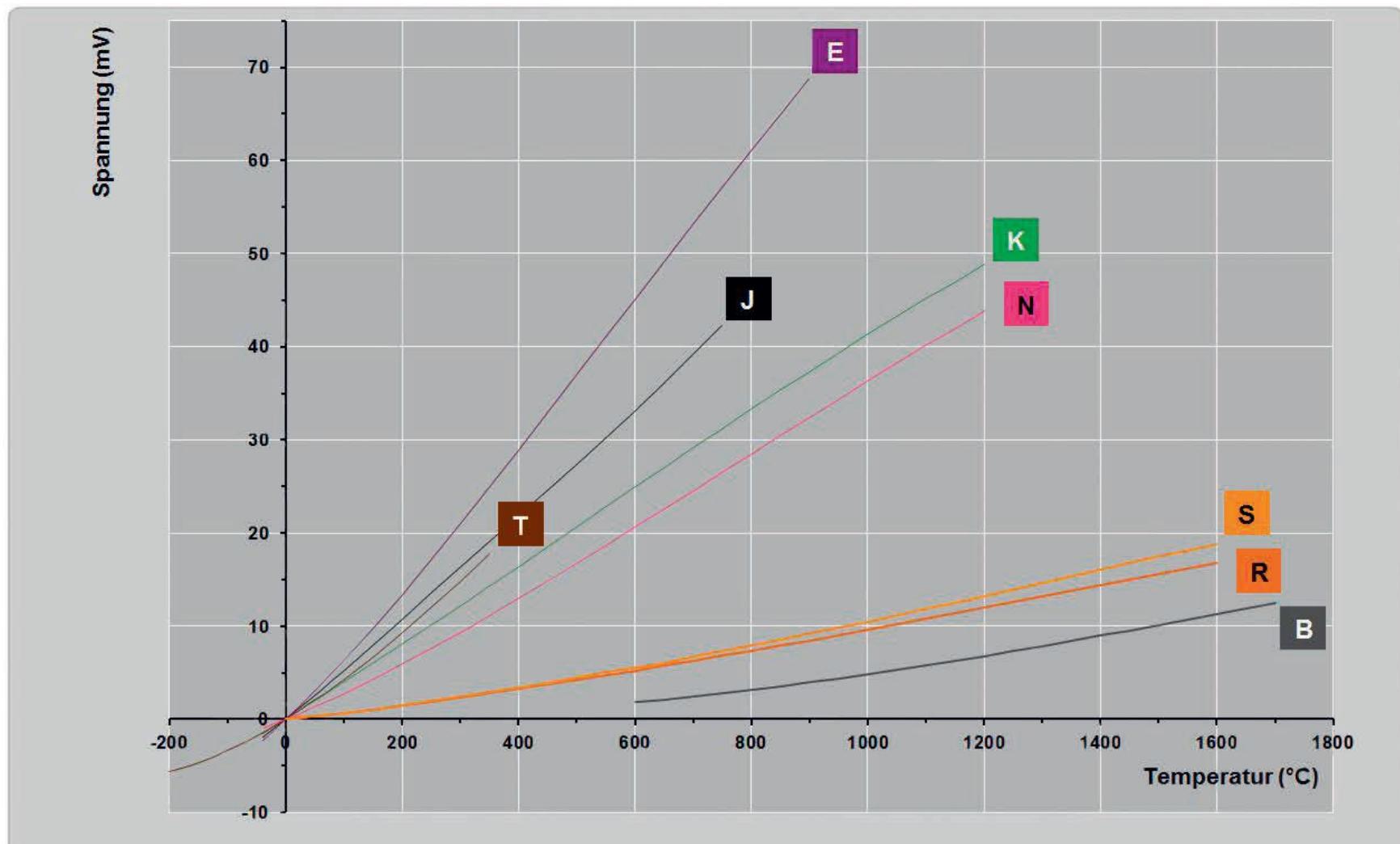
- líquidos o gases corrosivos, estáticos o fluyendo
- Aplicaciones de alta presión
- Tiempo de respuesta más rápido que aislado

• Aislado:

- ambientes corrosivos donde se necesite aislación eléctrica
- se aísla con MgO

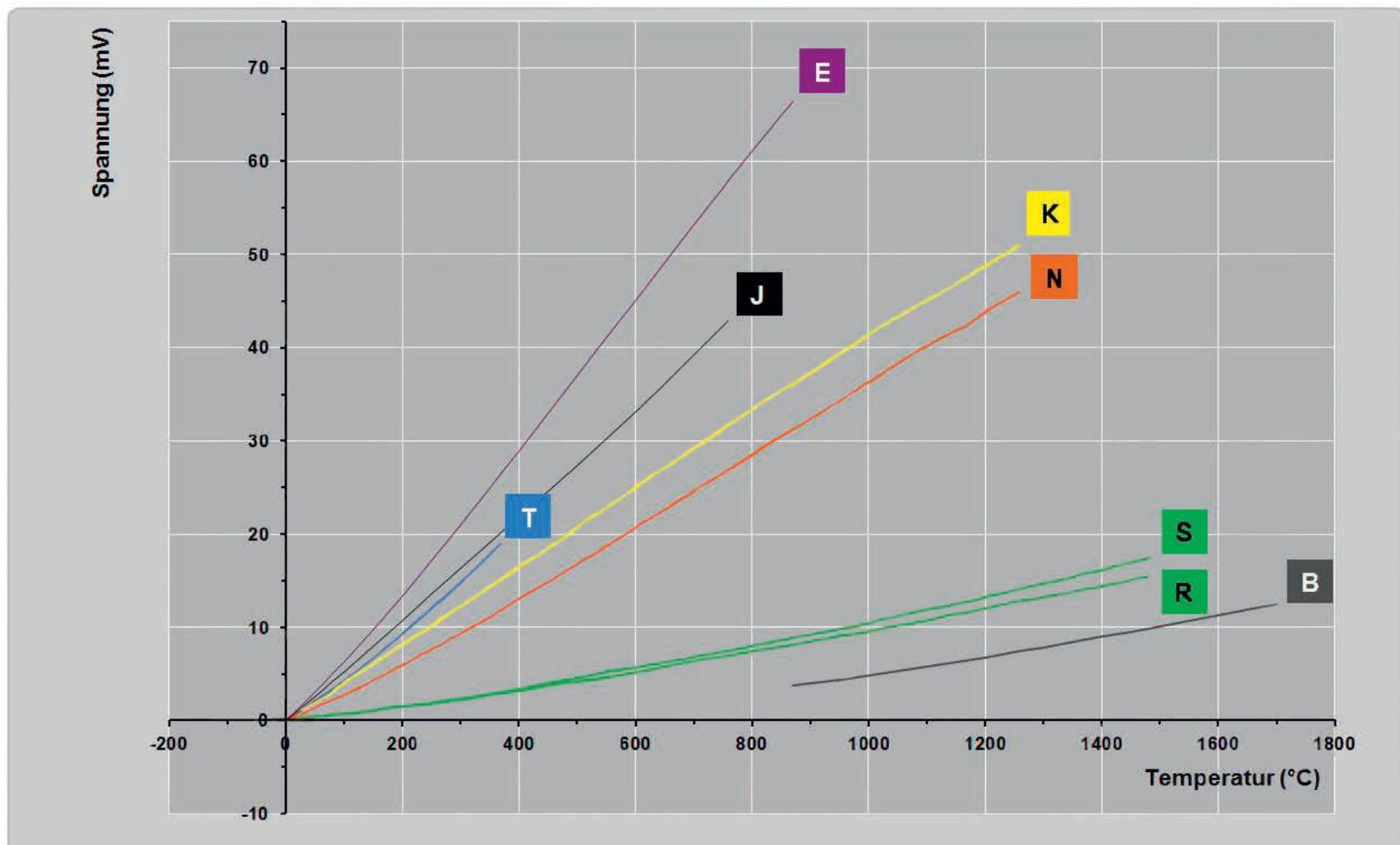
- 
- **Expuesta:**
 - gases no corrosivos estáticos o fluyendo
 - Mínimo tiempo de respuesta

Termocuplas más comunes



IEC 60584-1: Termopares. Parte 1: Tolerancias y especificaciones EMF

Termocuplas más comunes



ASTM E230: Standard Specification For Temperature-Electromotive Force (Emf)
Tables For Standardized Thermocouples

III Cables de conexión

Para cubrir la distancia entre el sensor y unidad de evaluación:

cables de extensión (el material del conductor corresponde a los materiales originales de la termocupla)

cables de compensación: el material del conductor corresponde, en un rango de temperatura restringido, a las características termoeléctricas de la termocupla original.

Código de colores de los cables de extensión y de los cables de compensación

	ASTM E230 Cable térmico	ASTM E230 Cable de compensación	BS 1843	DIN 43714	ISC1610-198	NF C42-323	IEC 60584-3	IEC 60584-3 Seguridad intrínseca
N								
J								
K								
E								
T								
R								
S								
B								

Como seleccionar una TC.

- 1 - Rango de temperatura.
- 2 - Resistencia química de la TC o vaina
- 3 - Resistencia a las vibraciones y abrasión
- 4 - Requerimientos de instalación

III Interferencias en instalaciones de termocuplas:

La instalación de sensores termopares con sus cables de compensación/extensión son particularmente sensible a las **perturbaciones eléctricas** y si no están debidamente instalados pueden causar errores y variaciones en las mediciones.

La **principal fuente** de captación de estos disturbios es el **cable** y el **termopar encamisado**, ya que funcionan como antena. En muchas ocasiones su proximidad a zonas o equipos conflictivos supone variaciones y errores en la lectura de temperatura.

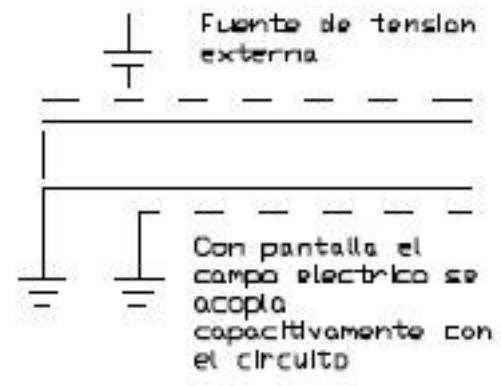
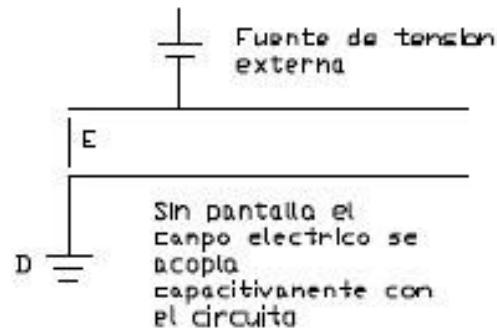
III Interferencias en instalaciones de termocuplas:

Los disturbios eléctricos a que puede ser sometido una instalación de termopares son los siguientes:

- Distorsión estática
- Distorsión magnética
- Distorsión de modo común
- Distorsión diafonía (cross-talk)

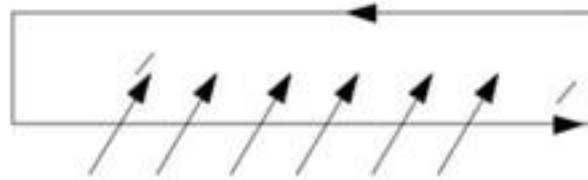
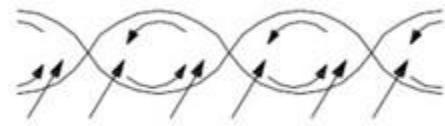
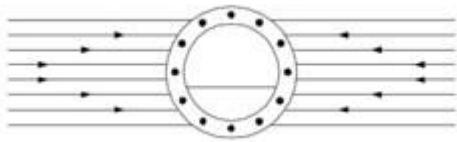
III Distorsión estática:

Producidos por campos eléctricos.



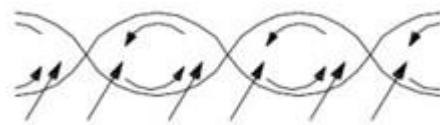
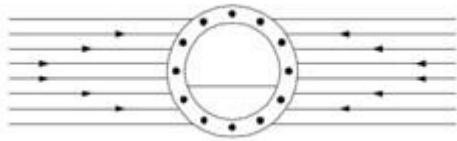
El sistema más eficaz consiste en utilizar cable apantallado de aluminio-mylar puesto a tierra.

III Distorsión magnética



Distorsión magnética

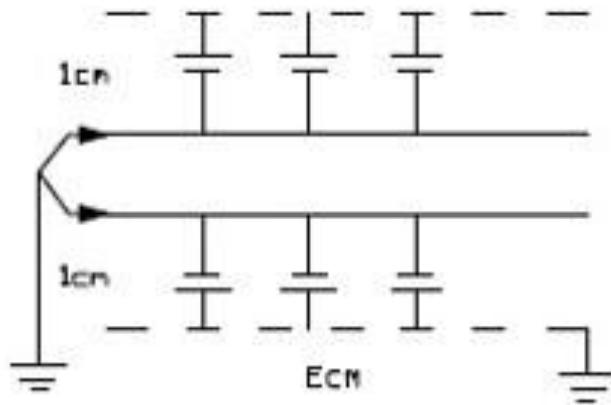
Un conductor eléctrico recorrido por una corriente produce un campo magnético



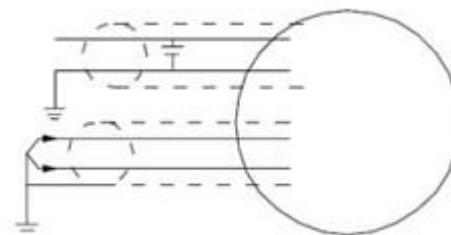
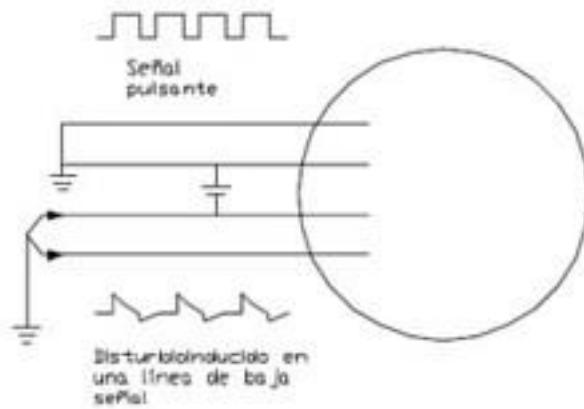
El sistema más eficaz para eliminar esta distorsión es utilizar cable trenzado.

Otras forma: utilizar caño de hierro dulce

III Distorsión de modo común:

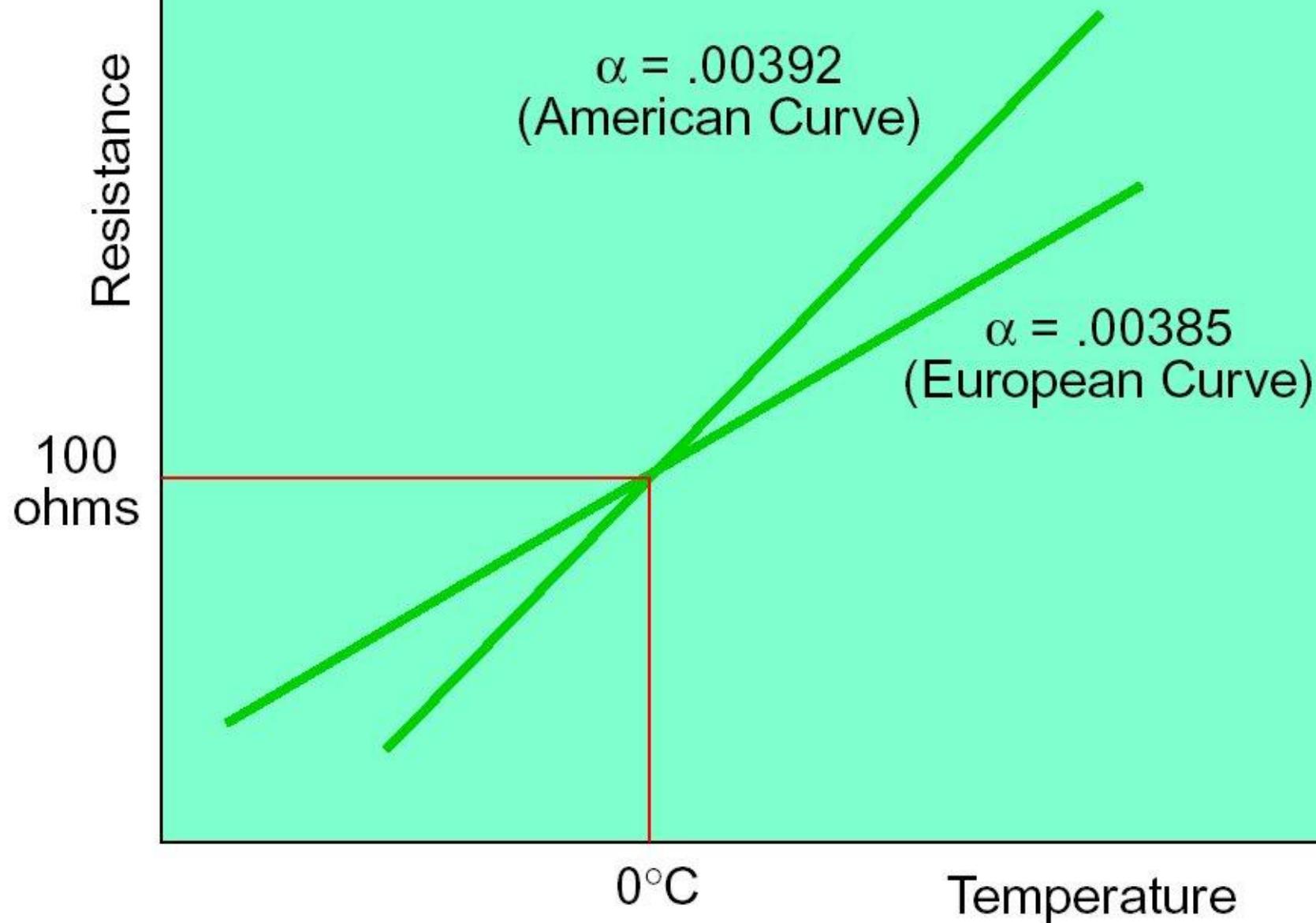


III Distorsión diafonía (cross-talk)

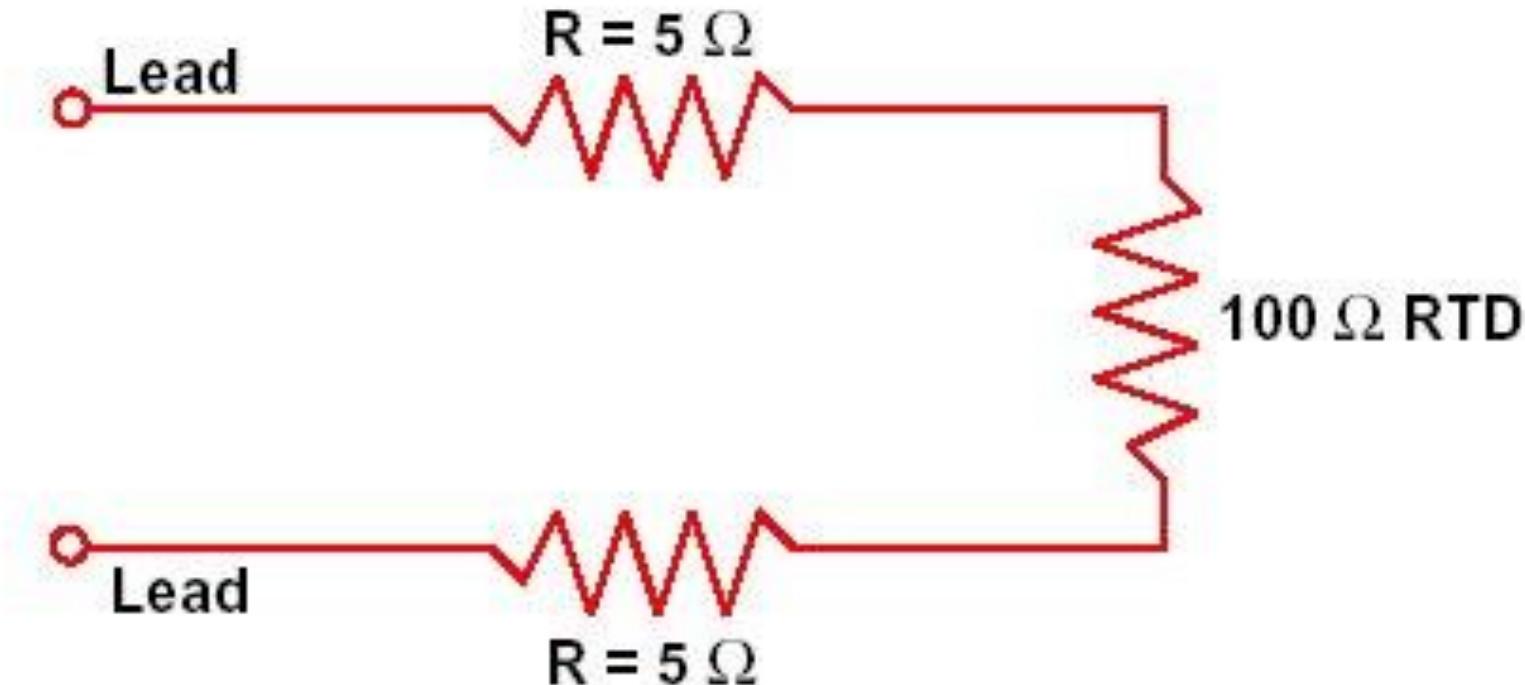


II 2 - Medición de T con RTDs.

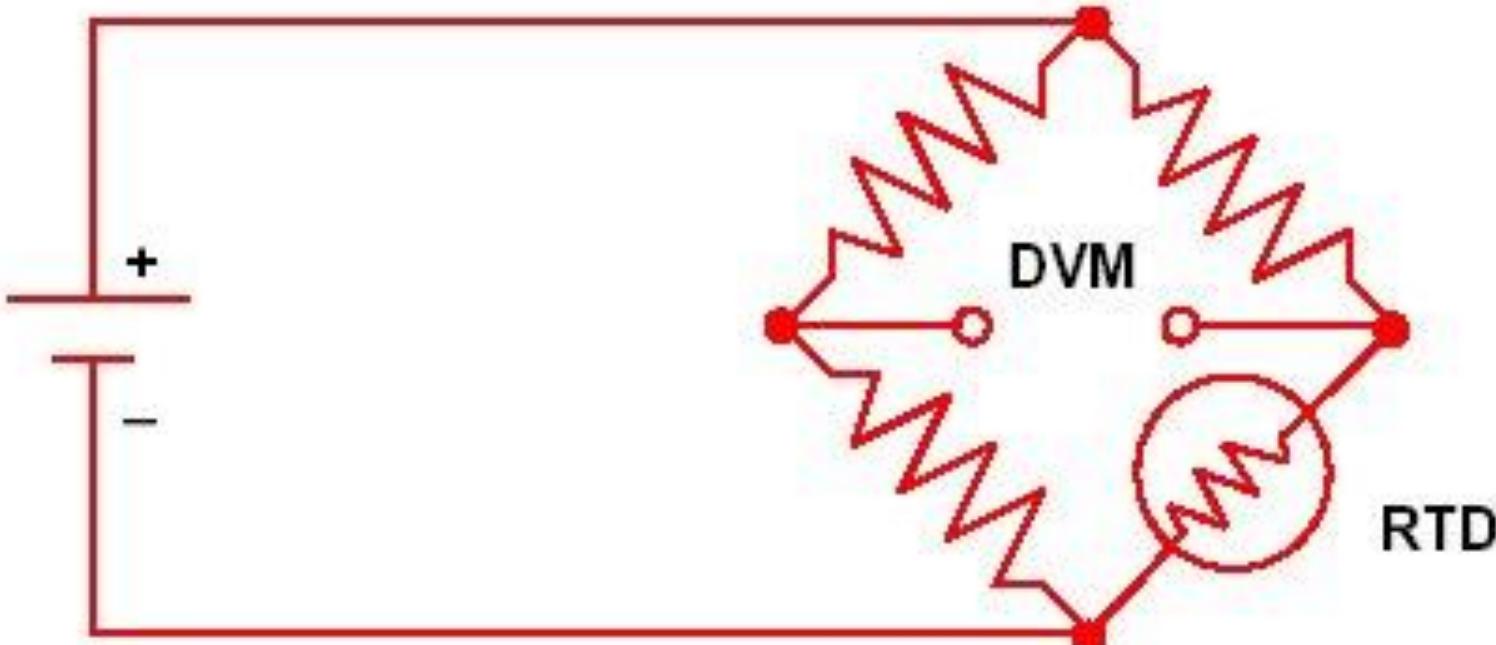
METAL	RESISTIVITY OHM/CMF (cmf = circular mil foot)
Gold	Au 13.00
Silver	Ag 8.8
Copper	Cu 9.26
Platinum	Pt 59.00
Tungsten	w 30.00
Nickel	Ni 36.00



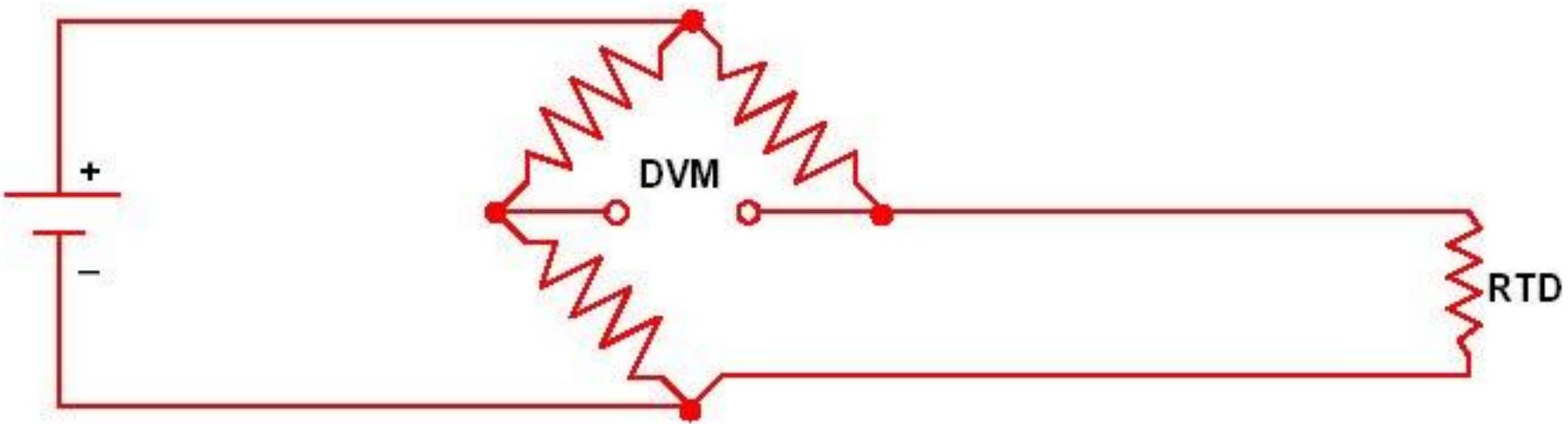
A) Medición:

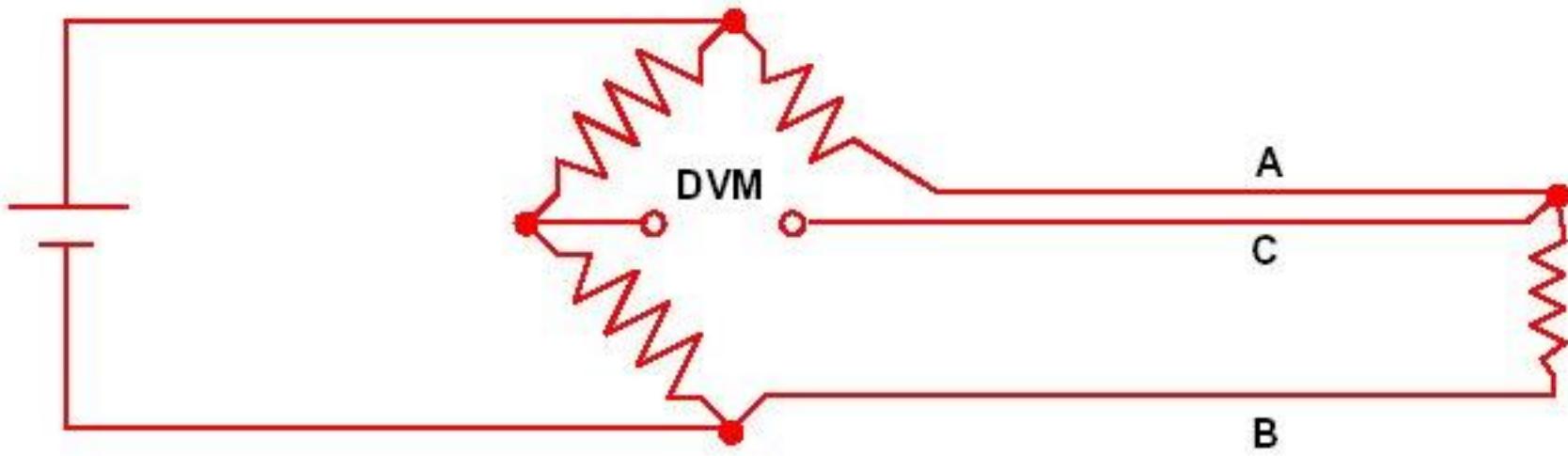


EFFECT OF LEAD RESISTANCE

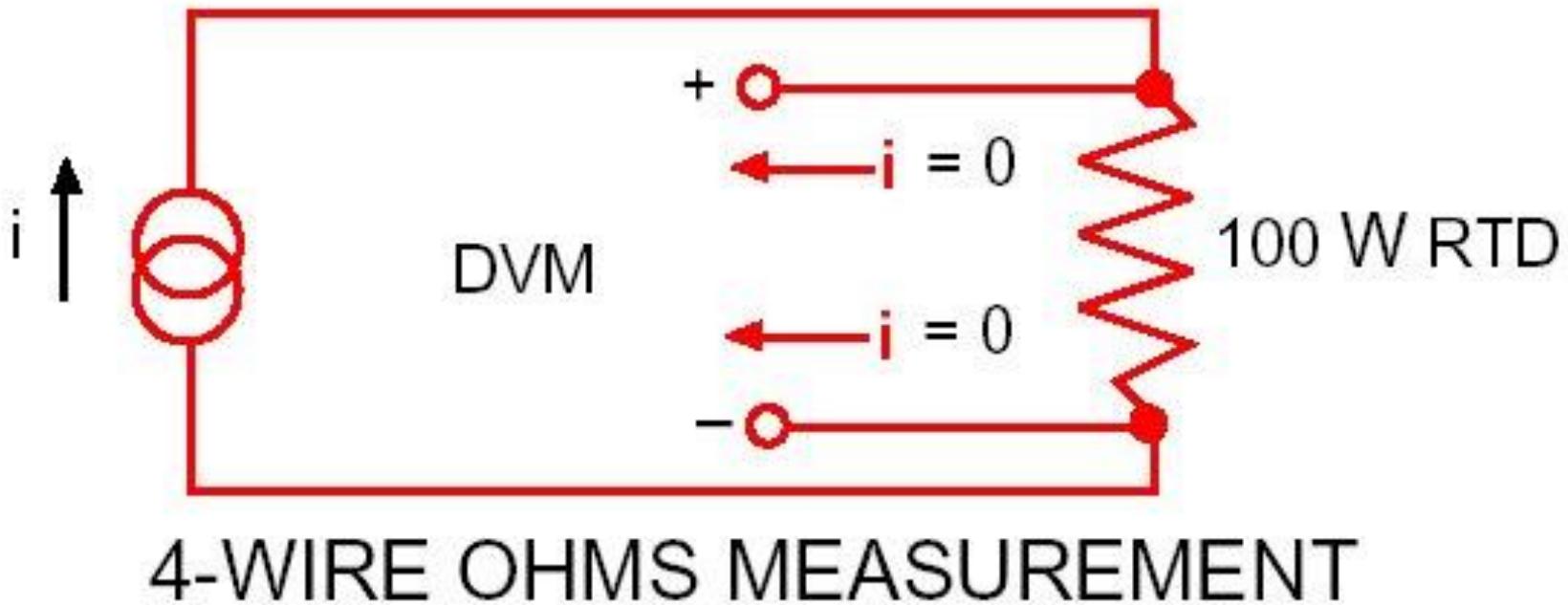


WHEATSTONE BRIDGE





3-WIRE BRIDGE



B) Conversión de R a T:

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

R_T = Resistance at Temperature T

R_0 = Resistance at $T = 0^\circ\text{C}$

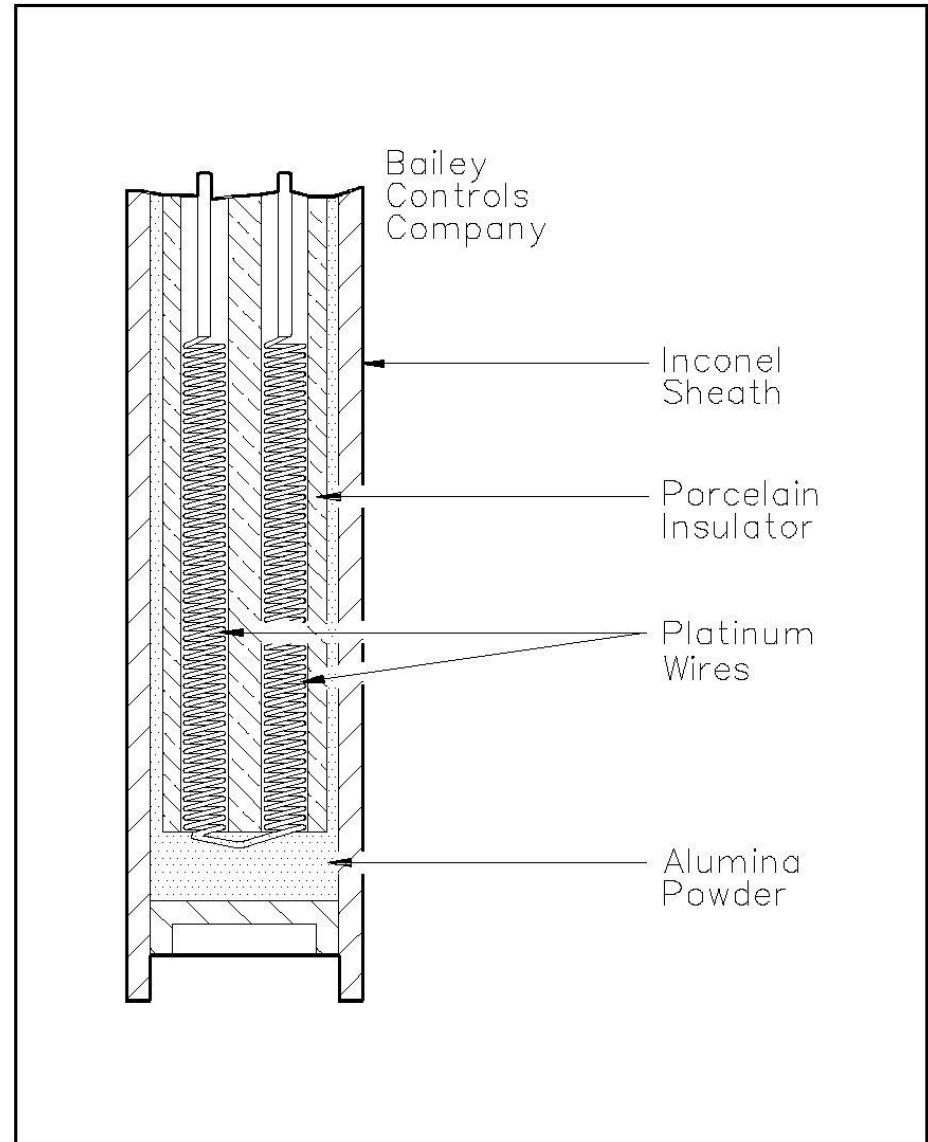
α = Temperature coefficient at $T = 0^\circ\text{C}$
(typically $+0.00392\Omega/\Omega/\text{ }^\circ\text{C}$)

δ = 1.49 (typical value for .00392 platinum)

β = 0 $T > 0$
 0.11 (typical) $T < 0$

C) Precauciones

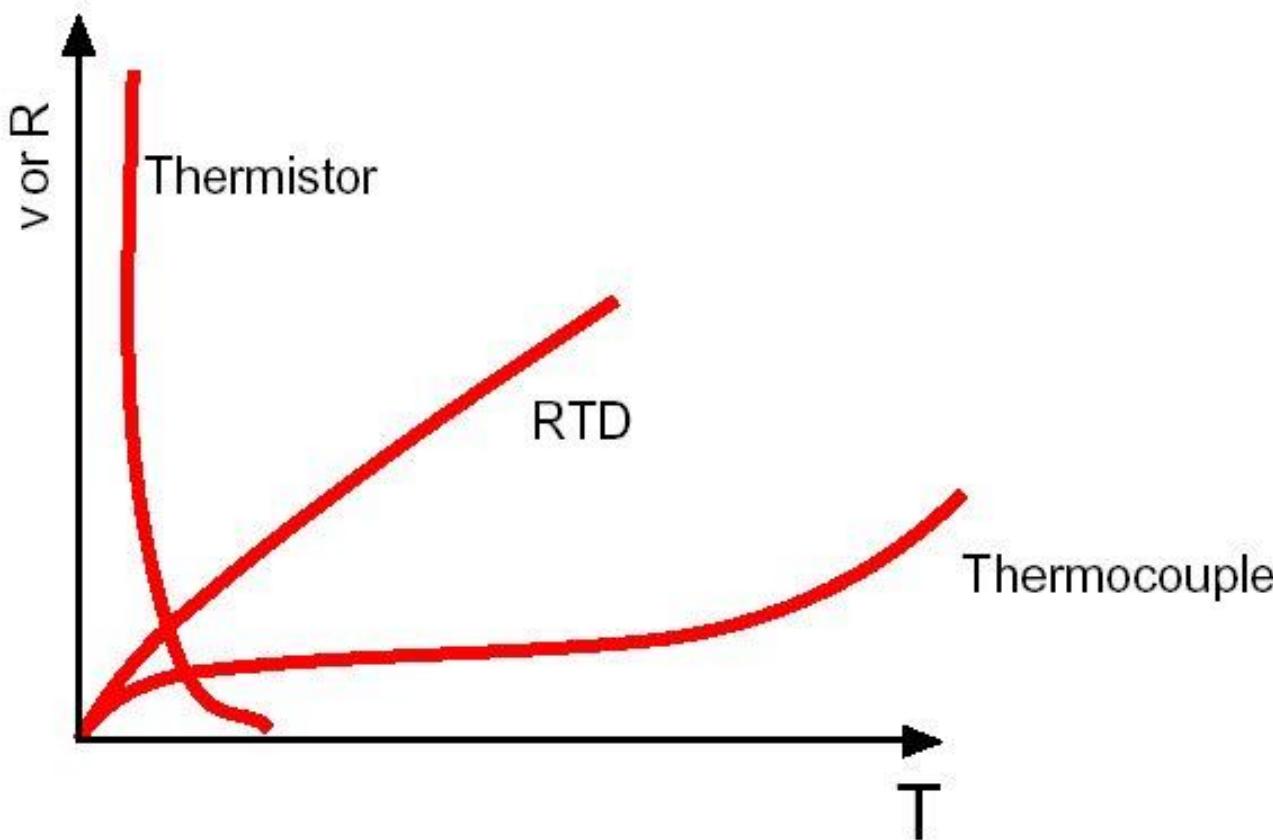
- Construcción



- Autocalentamiento (I^2R)

3 - Medición de T con termistor:

- TC = el más versátil
- RTD = el más estable
- Termistor = el más sensible



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

T = Degrees Kelvin

R = Resistance of the thermistor

A,B,C = Curve-fitting constants

- Alta sensibilidad a costa de linealidad
- No se pueden estandarizar las curvas como las TC o RTDs

Medición:

■ Gran resistencia => no necesita medición
a 4 hilos

Tipos constructivos (RTDs y termocuplas)



Tipos constructivos (RTDs y termocuplas)



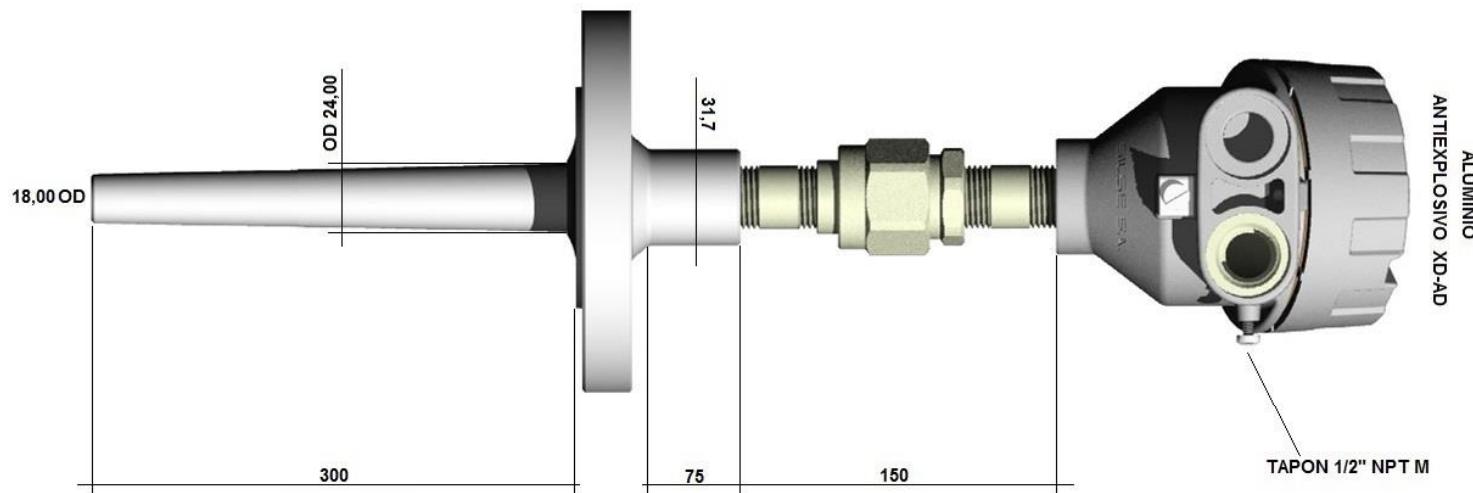
Tipos de vainas para RTDs y termocuplas



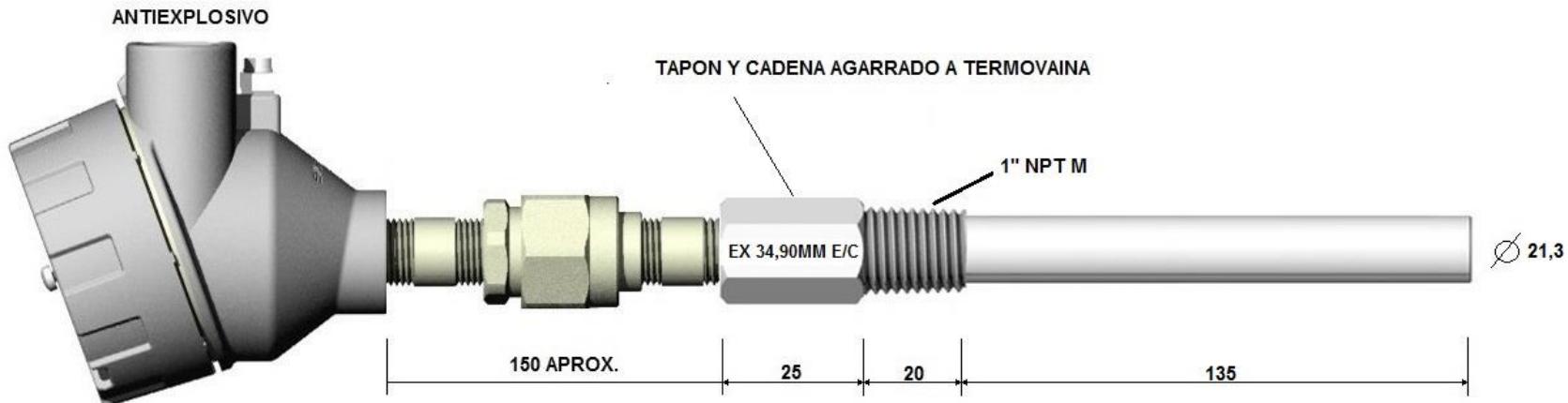
Tipo de Sensor	Modelo	Material de la Vaina	Longitud de la Vaina	Diámetro de la Vaina	Paso de la Rosca	Diámetro de Rosca	Material del Cabezal	Tamaño del Cabezal
<ul style="list-style-type: none">- TC = Termocupla- PT = RTD- DG = Digital- Otro (indicar)	<ul style="list-style-type: none">- J- K- E- T- R- S- 100- 1000	<ul style="list-style-type: none">- Acero Inox.- Bronce- Cerámica- Otro	- (en mm)	- (en mm)	<ul style="list-style-type: none">- BSP- BSPT- NPT- WITHWORT- MÉTRICA	- (en pulgadas)	<ul style="list-style-type: none">- Acero Niq.- Nylon- Teflon- Baquelita- Aluminio- Sin Cabezal	<ul style="list-style-type: none">- DIN A- DIN B- DIN C

Tipos de vainas para RTDs y termocuplas

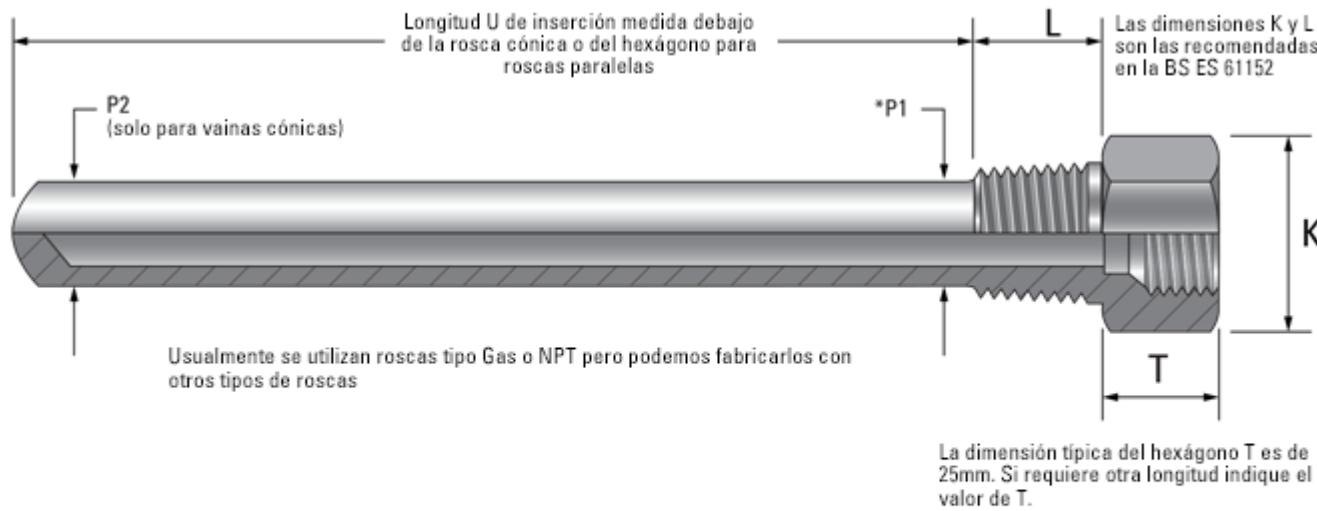
BRIDADAS CONICAS CON NIPLES Y UNION DOBLE



Tipos de vainas para RTDs y termocuplas



Tipos de vainas para RTDs y termocuplas



Notas:

- P1 = Diámetro exterior de la parte superior del termopozo (por debajo de la brida)
- P2 = Diámetro exterior de la parte inferior del termopozo (necesario en vaina cónica)

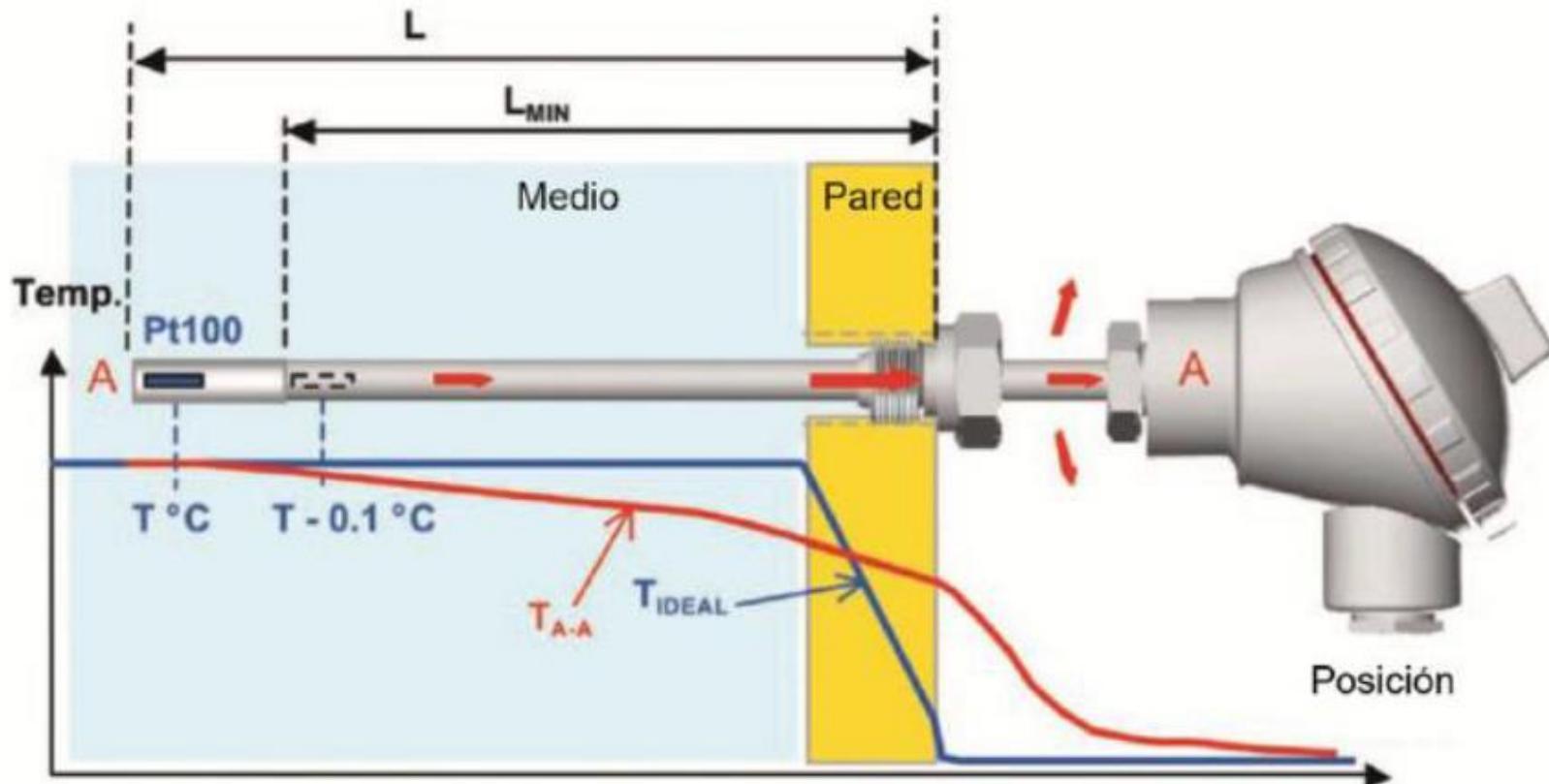
El diámetro interior debe ser lo suficientemente ancho para poder introducir fácilmente la vaina del sensor pero intentando que sea lo mas ajustado posible y minimizar el aire interior para garantizar una buena respuesta térmica.

Termopozos (vainas exteriores)

Tipos de vainas para RTDs y termocuplas

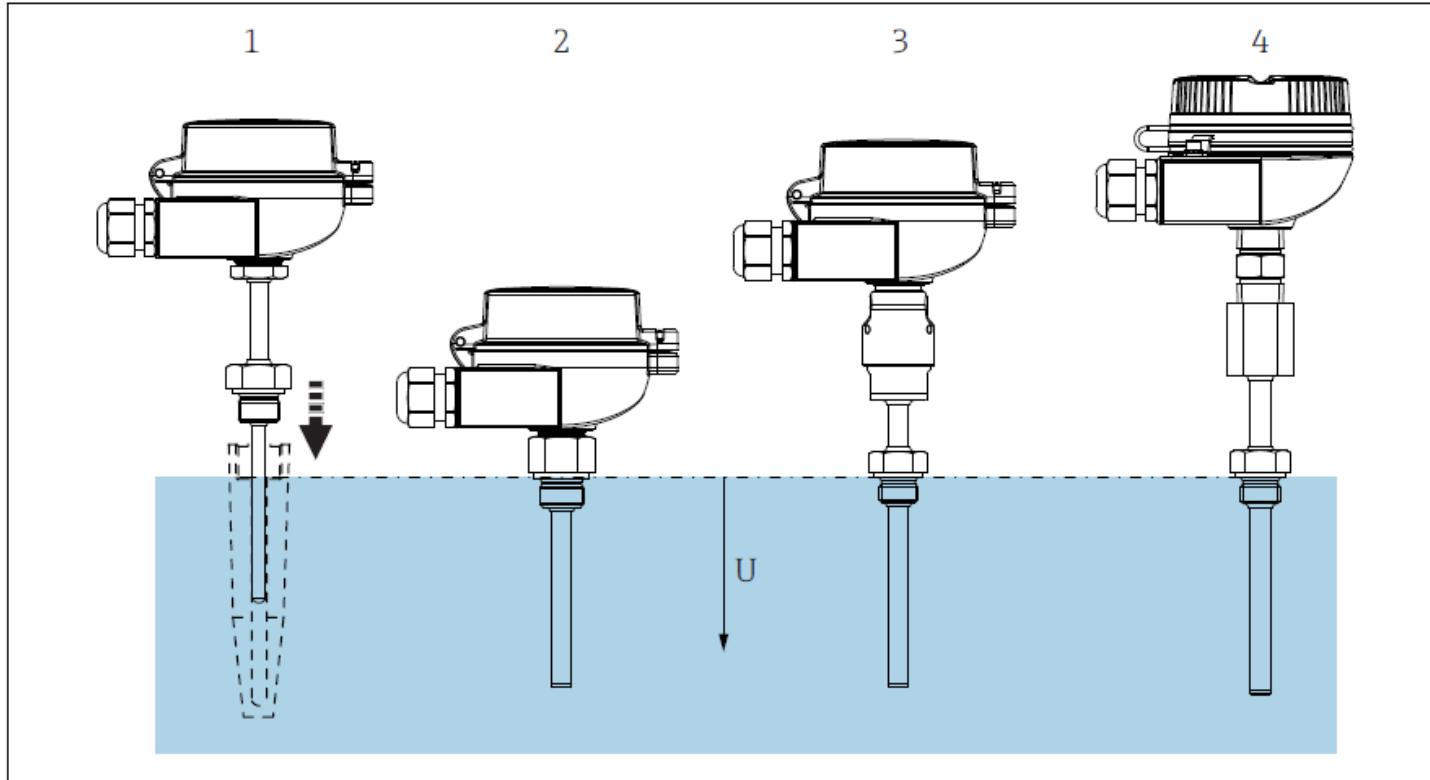


III Longitudes de inserción:



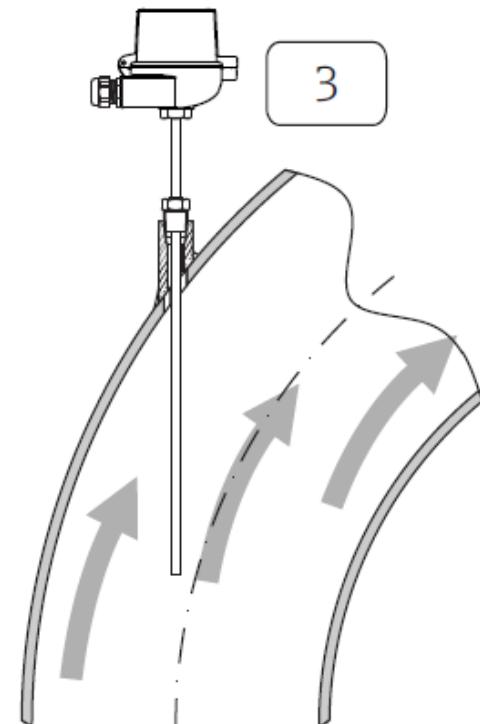
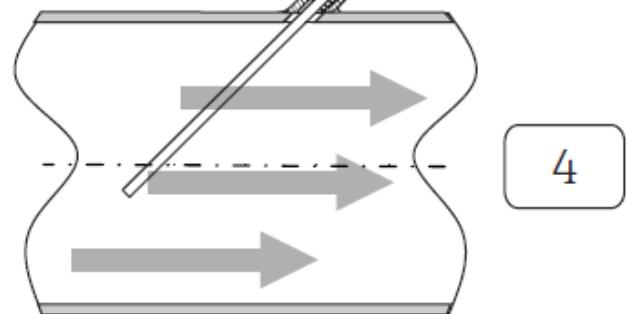
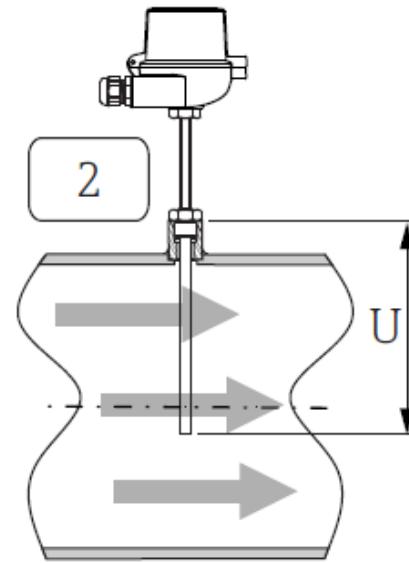
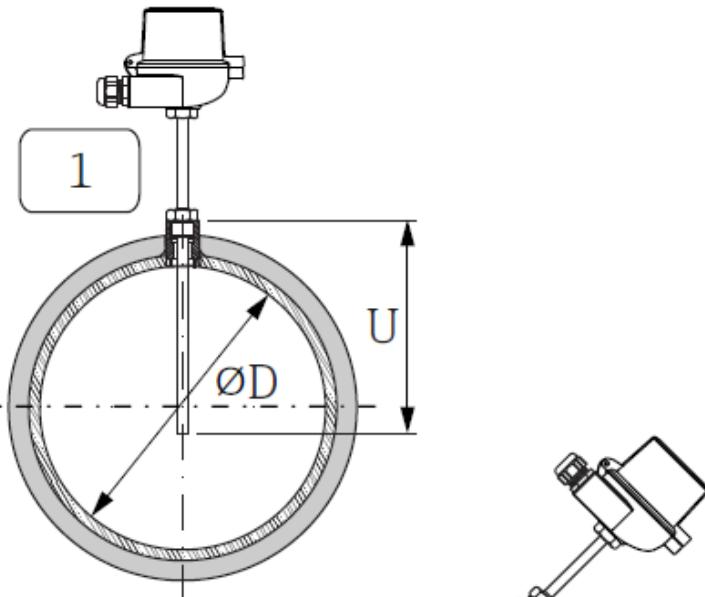


Tipos de montaje (RTDs y termocuplas)



- 1 *Para ser instalada en termopozo existente*
- 2 *Con termopozo y sin extensi^{on} (cuello)*
- 3 *Con termopozo y extensi^{on} tipo DIN43772 formas 2 G/F, 3 G/F*
- 4 *Con termopozo y revestimiento hexagonal*

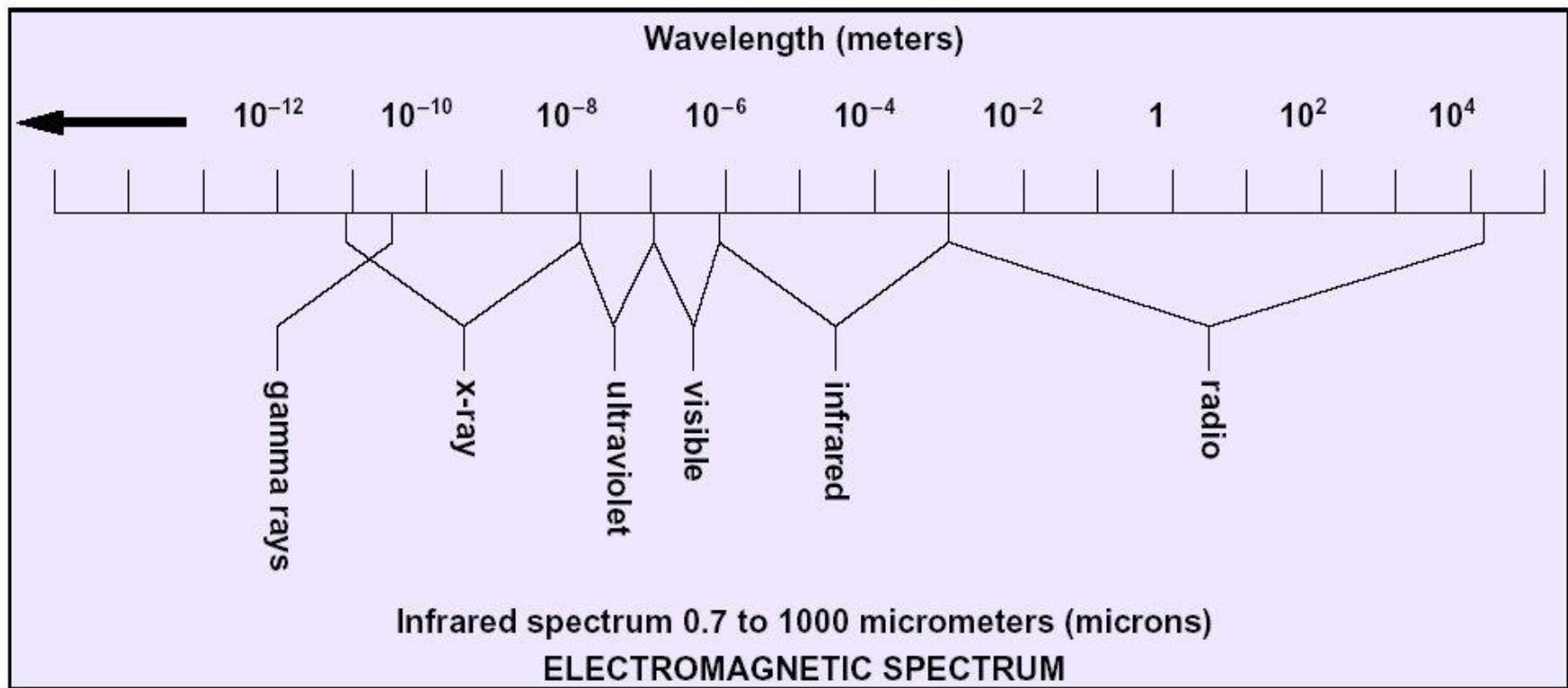
III Posición de montaje



3 - Termometría infrarroja:

- Medición con contacto:
TC, RTD, termistores
- Medición sin contacto:
Termómetros infrarrojos (IR)
- Aplicaciones:
 - rápida respuesta
 - muy altas temperaturas
 - objetos móviles o intermitentes
 - objetos en vacío
 - objetos inaccesibles
 - limitaciones geométricas

A) Espectro electromagnético:

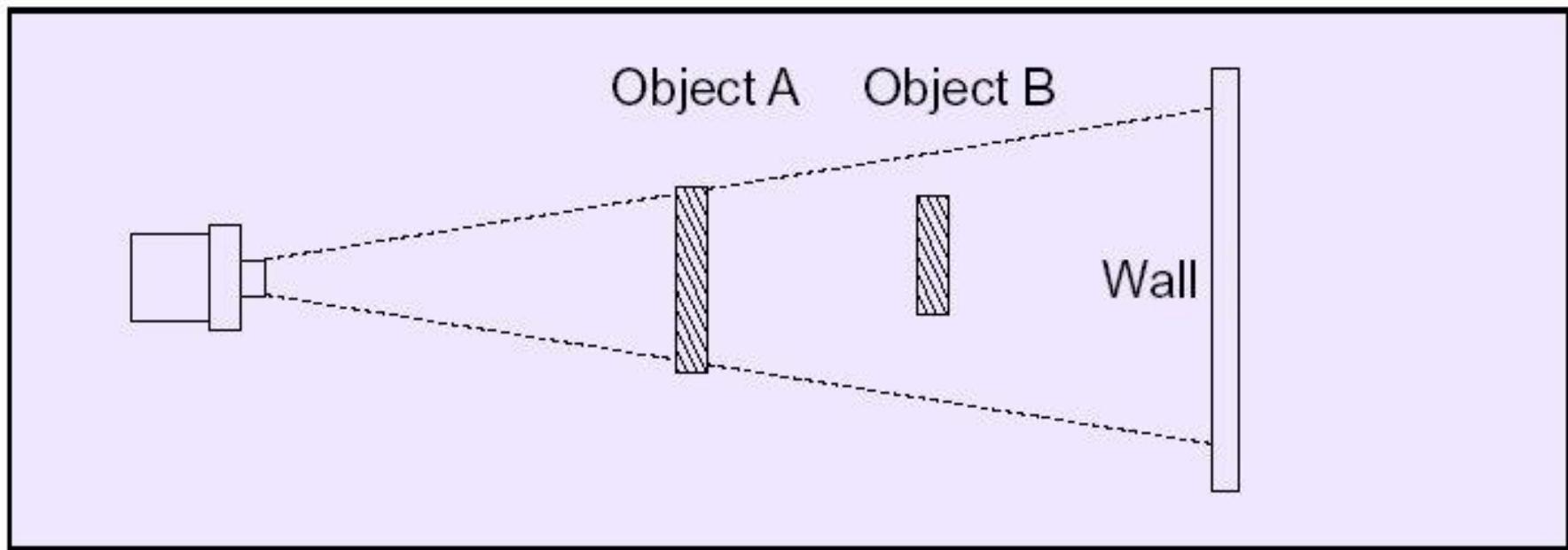


III B) Consideraciones al seleccionar un IR:

- 1 - Campo de vista (tamaño y ubicación del objeto)**
- 2 - Tipo de superficie (emisividad)**
- 3 - Respuesta espectral (efectos atmosféricos o transmisión a través de la superficie)**
- 4 - Rango de T y montaje (portable o fijo)**

1 - Campo de vista:

Ángulo al que opera el instrumento
(depende de la óptica incorporada)

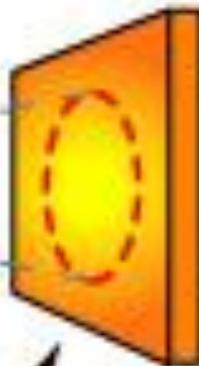


Field of view

Recommended

Incorrect

Infrared
Thermometer



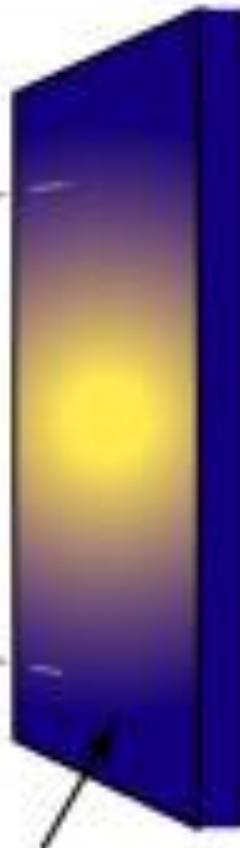
Target Greater
than Spot Size



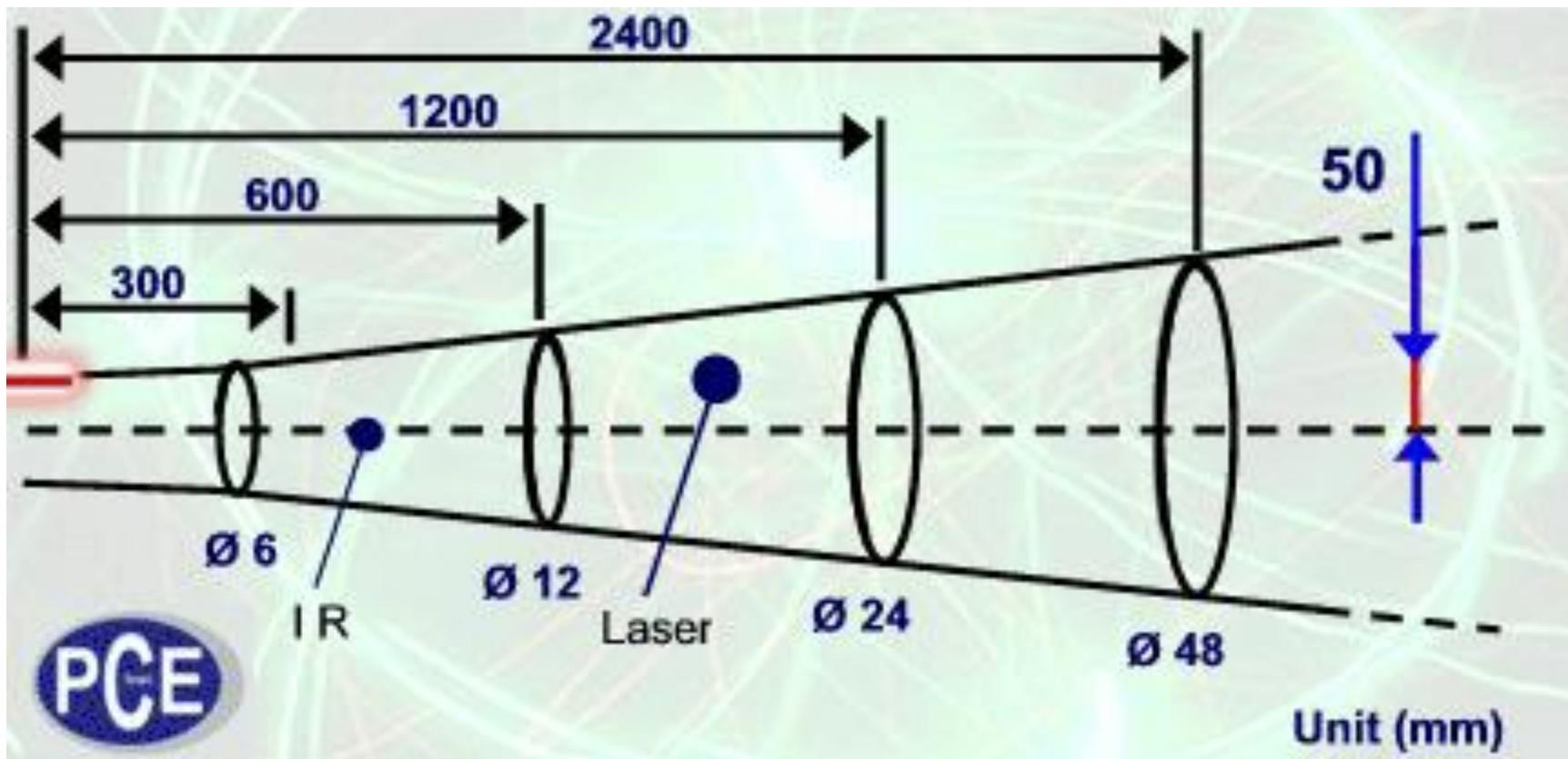
Target Equal
to Spot Size



Target Smaller
than Spot Size



Background



II 2 - Emisividad:

Relación entre la E radiada por un objeto a una T dada y la E emitida por un radiador perfecto (cuerpo negro) a la misma T

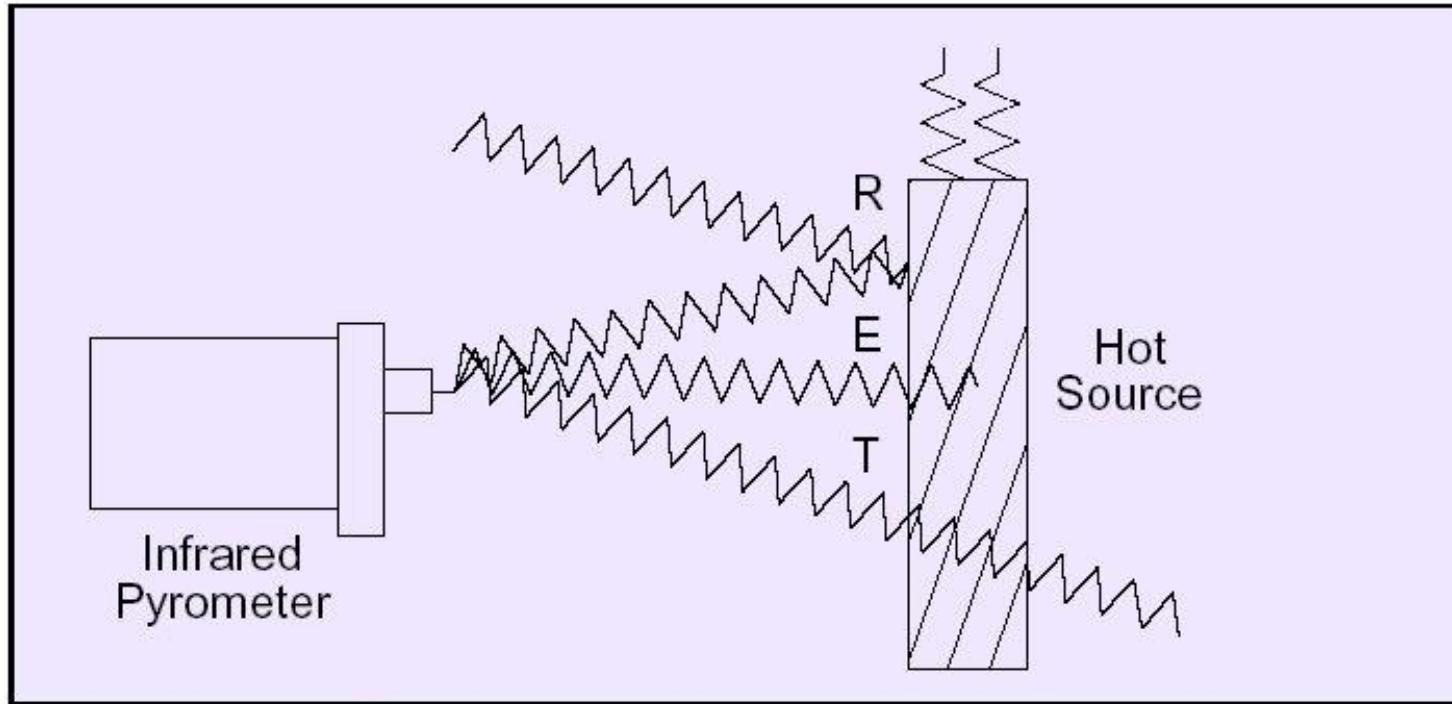
Unidades:

% [0...100]

adimensional [0...1]

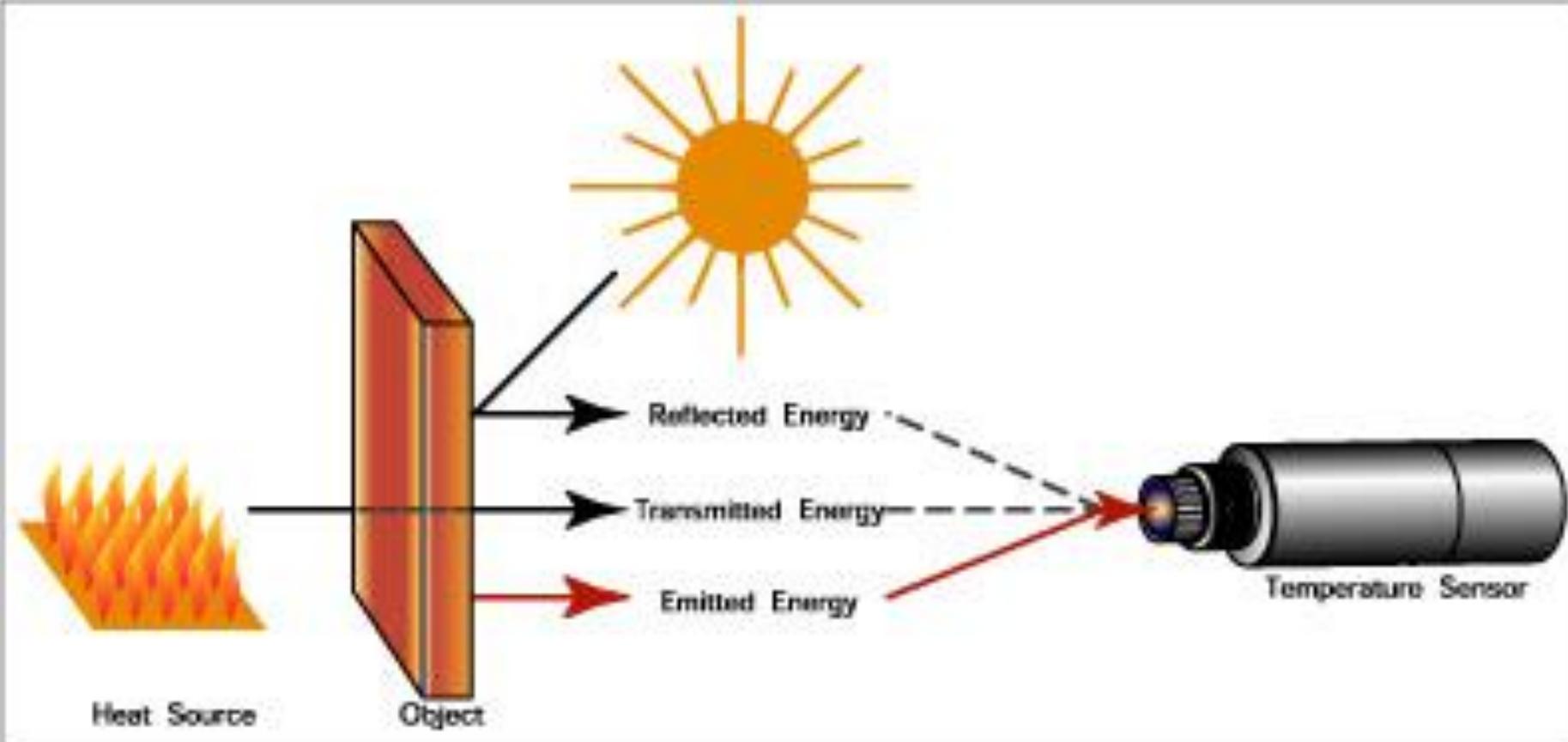
Emisividad del cuerpo negro = 1.0

$$E + T + R = 1.0$$



Total infrared radiation reaching pyrometers

- A mayor e más fácil obtener alta precisión
- Superficies metálicas muy pulidas $e < 0.2$
- Sustancias orgánicas (madera, plásticos, tela) ~ 0.95



3 - Respuesta espectral:

- 8 ~ 14 micrones: ($T < 540^{\circ}\text{C}$)
- 8 ~ 20 micrones: sólo para mediciones cercanas (muy sensibles a la distancia)
- Propósitos especiales

||| 4 - Rango y montaje:

- Fijos:
 - monitoreo continuo
 - alimentación de línea
 - apuntando a un punto fijo
 - Display local o remoto
- Portátiles:
 - alimentación a baterías
 - mantenimiento, diagnóstico, control de calidad.

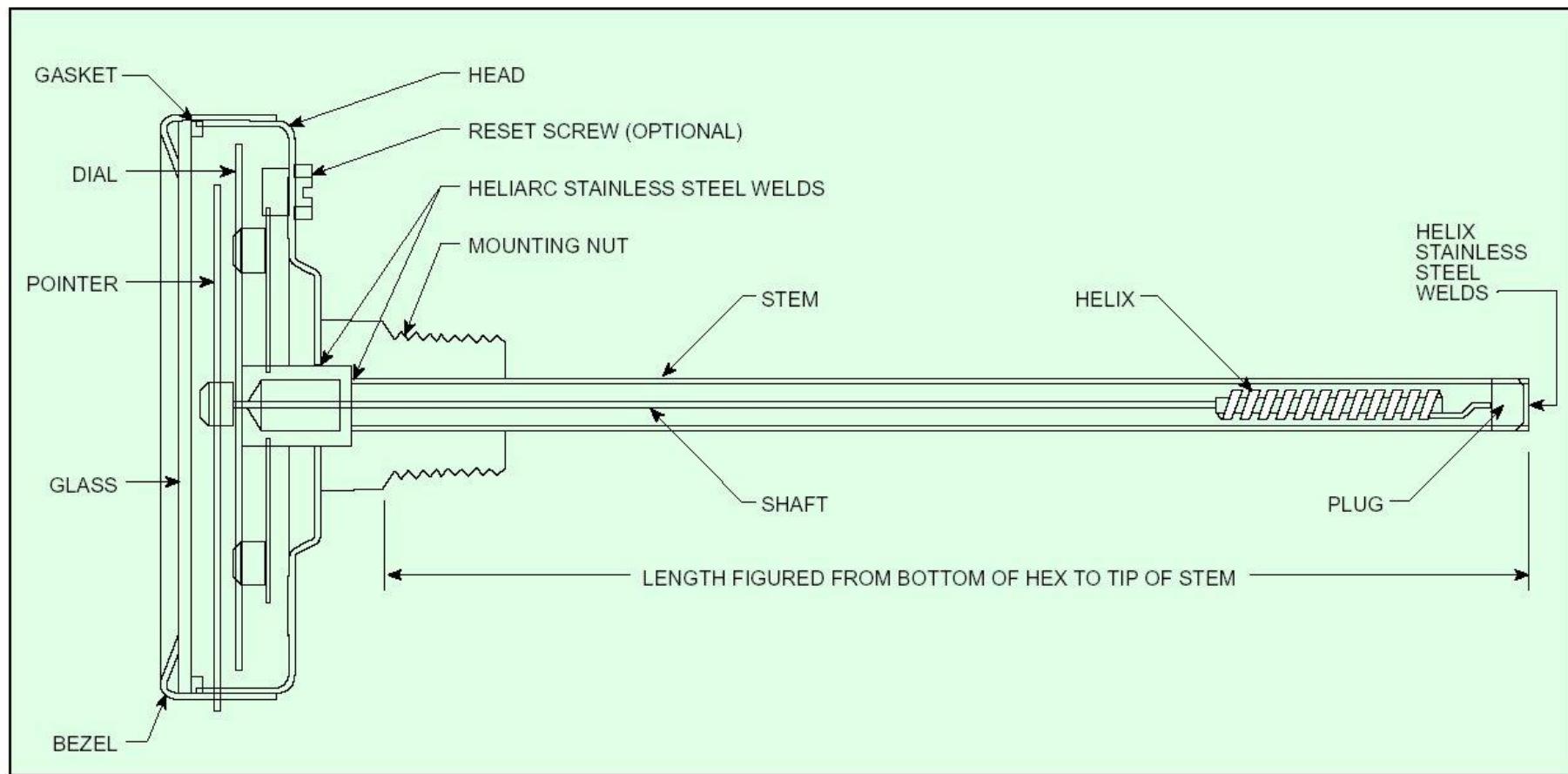
Infrarrojos fijos



Infrarrojos portátiles

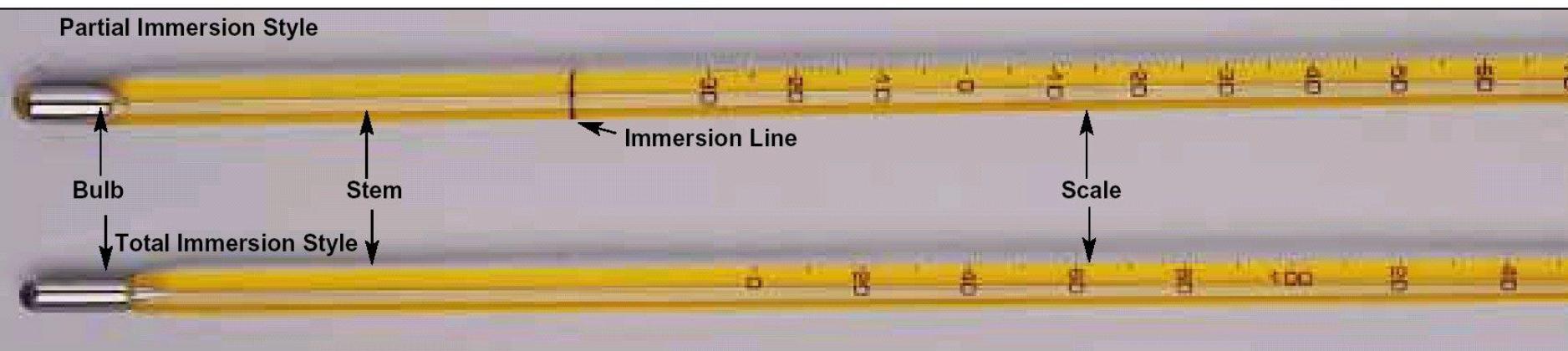


4 - Dispositivos bimétálicos



5 - Dispositivos de expansión

- Termómetros de vidrio:



• Expansión de gas



6 - Dispositivos de cambio de estado

• Cambio reversible

Model RLC-70-10/40
Room Thermometer
10 to 40°C
(2°C increments)



Model RLC-70-60/90
Room Thermometer
60 to 90°F/16 to 32°C
(2°F increments)



Model RLC-70-0/12
Refrigerator Thermometer
0 to 12°C
(2°C increments)



Model RLC-70-32/54
Refrigerator Thermometer
32 to 54°F/0 to 12°C
(4°F increments)



- Cambio irreversible
 - Etiquetas



- Crayones, pastillas y lacas



Usos:

**Crayones: soldaduras, tratamientos térmicos,
moldeado de gomas y plásticos.**

Pastillas: control de T interna en hornos

Lacas: placas electrónicas.



CALIBRACIÓN

- Guía ISO/IEC 99 (VIM) "Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados".
- Guía ISO/IEC 98-3 (GUM) "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida".
- ISO 10012: "Requisitos para los procesos de medición y equipos de medición".

Vocabulario Internacional de Metrología



III Vocabulario Internacional de Metroología

Joint Committee for Guides in Metrology (**JCGM**):

1. International Bureau of Weights and Measures (**BIPM**),
2. the International Electrotechnical Commission (**IEC**),
3. the International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (**IFCC**),
4. the International Organization for Standardization (**ISO**),
5. the International Union of Pure and Applied Chemistry (**IUPAC**),
6. the International Union of Pure and Applied Physics (**IUPAP**),
7. The International Organization of Legal Metrology (**OIML**),
8. the International Laboratory Accreditation Cooperation (**ILAC**)

III Metrología – definiciones (VIM:2012):

2.1 (2.1)

medición, f

medida, f

proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios **valores** que pueden atribuirse razonablemente a una **magnitud**

NOTA 1 Las mediciones no son de aplicación a las **propiedades cualitativas**.

NOTA 2 Una medición supone una comparación de magnitudes o el conteo de entidades.

■ NOTA 3 Una medición supone una descripción de la magnitud compatible con el uso previsto de un **resultado de medida**, un **procedimiento de medida** y un **sistema de medida** calibrado conforme a un procedimiento de medida especificado, incluyendo las condiciones de medida.

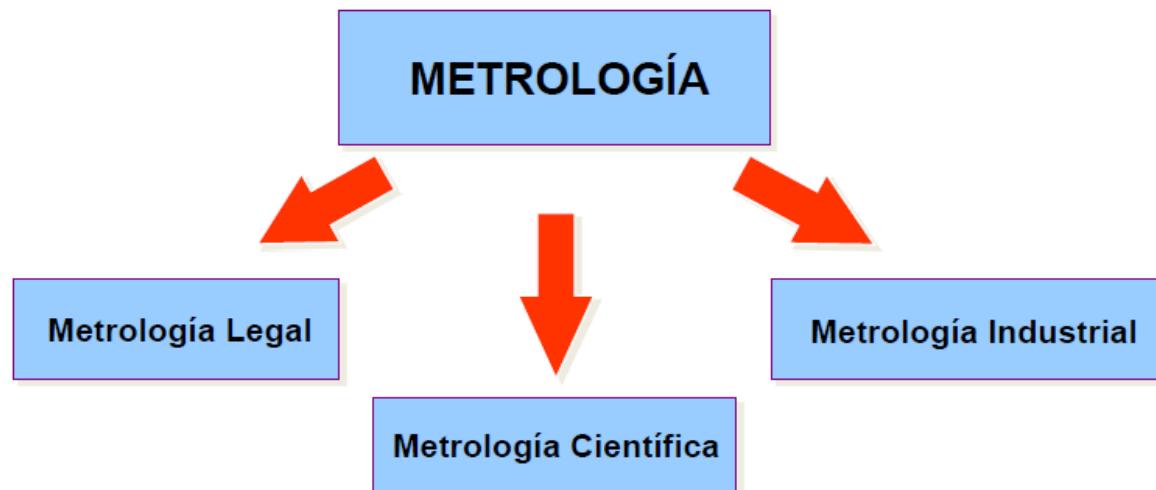
III Metrología – definiciones (VIM:2012):

2.2 (2.2)

metrología, f

ciencia de las **mediciones** y sus aplicaciones

NOTA La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, cualesquiera que sean su **incertidumbre de medida** y su campo de aplicación.



<https://www.inti.gob.ar/areas/metrologia-y-calidad/metrologia-legal-reglamentado>

The screenshot shows a web browser displaying the URL [inti.gob.ar/areas/metrologia-y-calidad/metrologia-legal-reglamentado](https://www.inti.gob.ar/areas/metrologia-y-calidad/metrologia-legal-reglamentado). The page features a large banner image showing a close-up of a hand holding a medical device with a digital display and a yellow calibration button. The text "Metrología Legal" is overlaid on the image. Below the banner, the heading "Instrumentos de medición reglamentados" is displayed. Six regulatory documents are listed in a grid:

Año	Resolución / Descripción
2019	Resolución 545/2019 Medidores de Gas de Diafragma
2019	Resolución 247/2019 Medidores de energía eléctrica activa en corriente alterna
2012 / 2019	Resoluciones 91/2015 - 145/2012 Medidores de concentración de alcohol en aire exhalado (Etilómetros)
2012	Resolución 83/2012 Termómetros Clínicos Eléctricos Digitales con Dispositivo de Medición de Temperatura Máxima
2012	Resolución 88/2012 Sistemas de medición de gas natural comprimido de uso vehicular
2012	Resolución 89/2012 Sistemas de medición de gas natural con medidor ultrasónico

<https://www.inti.gob.ar/areas/metrologia-y-calidad/servicio-argentino-de-calibracion/servicio-argentino-de-calibracion>



Servicio Argentino de Calibración y Medición

LO QUE HACEMOS | DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

¿Qué hacemos?

Red de laboratorios supervisados por el INTI según Norma ISO/IEC 17025 (en su versión vigente). Brinda a la industria la posibilidad de calibrar sus instrumentos y realizar sus mediciones en laboratorios cuya competencia técnica está asegurada, los patrones de referencia utilizados son trazables al Sistema Internacional de Unidades SI y los certificados e informes emitidos son técnicamente válidos.

CONSIDERACIONES TRANSITORIAS ACERCA DE LAS ACTIVIDADES DEL SERVICIO ARGENTINO DE CALIBRACIÓN Y MEDICIÓN

Laboratorios de la Red SAC

Arancelas

Laboratorio de Calibración N° 09

SICE – Servicios de Instrumentación y Control S.R.L.

Área: electroíndic, tiempo, temperatura, humedad y osciloscopios

Director técnico: Fernando Trusco
Director técnico suplente: Demián Hidalgo
Habana 2086 Depto. 2, C.A.B.A.
Teléfono: 4572.2762
info@siceci.com.ar
www.siceci.com.ar

[Descargas](#) +

Laboratorio de Calibración N° 10

Conimert S.A.

Laboratorio de Calibración N° 10

DOLZ Hnos. S.R.L.

Área: mesas

Director técnico: Manuel Dolz
Director técnico suplente: Francisco Dolz
Fonrouge 1857 (1440) C.A.B.A.
Teléfono: 4653-3159 / 4653-8600
dolzhnos@dolzhnos.com.ar
www.dolzhnos.com.ar

[Descargas](#) +

Laboratorio de Calibración N° 12

Telebit S.A.

Área: presión y temperatura

Director suplente: Fabián Pino
Cerro Catedral 1212
C5501 - Benegas - Godoy Cruz - Mendoza
Tel: (0261)-4522690
fabián.pino@telebitca.com.ar
daniel.groso@telebitca.com.ar
www.telebitca.com.ar

[Descargas](#) +

Laboratorio de Calibración N° 14

Asociación Argentina de

Laboratorio de Calibración N° 16

FNSI S.F.

Laboratorio de Calibración N° 17

III Metrología – definiciones (VIM:2012):

2.4 (2.3)

principio de medida, m

fenómeno que sirve como base de una **medición**

EJEMPLO 1 El efecto termoeléctrico aplicado a la medición de temperatura.

EJEMPLO 2 La absorción de energía aplicada a la medición de la concentración de cantidad de sustancia.

EJEMPLO 3 La disminución de la concentración de glucosa en la sangre de un conejo en ayunas, aplicada a la medición de la concentración de insulina en una preparación.

NOTA El fenómeno puede ser de naturaleza física, química o biológica.

III Metrología – definiciones (VIM:2012):

2.5 (2.4)

método de medida, m

descripción genérica de la secuencia lógica de operaciones utilizadas en una **medición**

NOTA Los métodos de medida pueden clasificarse de varias maneras como:

- método de sustitución,
- método diferencial,
- método de cero;

o

- método directo,
- método indirecto.

Véase IEC 60050-300:2001.

III Metrología – definiciones (VIM:2012):

2.6 (2.5)

procedimiento de medida, m

descripción detallada de una **medición** conforme a uno o más **principios de medida** y a un **método de medida** dado, basado en un **modelo de medida** y que incluye los cálculos necesarios para obtener un **resultado de medida**

NOTA 1 Un procedimiento de medida se documenta habitualmente con suficiente detalle para que un operador pueda realizar una medición.

NOTA 2 Un procedimiento de medida puede incluir una **incertidumbre de medida objetivo**.

NOTA 3 El procedimiento de medida a veces se denomina *standard operating procedure* (SOP) en inglés, o *mode opératoire de mesure* en francés. Esta terminología no se utiliza en español.

III Metrología – definiciones (VIM:2012):

2.41 (6.10)

trazabilidad metrológica, f

propiedad de un **resultado de medida** por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de **calibraciones**, cada una de las cuales contribuye a la **incertidumbre de medida**

NOTA 1 En esta definición, la referencia puede ser la definición de una **unidad de medida**, mediante una realización práctica, un **procedimiento de medida** que incluya la unidad de medida cuando se trate de una **magnitud no ordinal**, o un **patrón**.

NOTA 2 La trazabilidad metrológica requiere una **jerarquía de calibración** establecida.

NOTA 3 La especificación de la referencia debe incluir la fecha en la cual se utilizó dicha referencia, junto con cualquier otra información metrológica relevante sobre la referencia, tal como la fecha en que se haya realizado la primera calibración en la jerarquía.

III Metrología – definiciones (VIM:2012):

5.1 (6.1)

patrón de medida, m

patrón, m

realización de la definición de una **magnitud** dada, con un **valor** determinado y una **incertidumbre de medida** asociada, tomada como referencia

EJEMPLO 1 Patrón de masa de 1 kg, con una **incertidumbre típica asociada** de 3 μg .

EJEMPLO 2 Resistencia patrón de 100 Ω , con una incertidumbre típica asociada de 1 $\mu\Omega$.

EJEMPLO 3 Patrón de frecuencia de cesio, con una incertidumbre típica relativa asociada de 2×10^{-15} .

EJEMPLO 4 Solución tampón de referencia con un pH de 7,072 y una incertidumbre típica asociada de

0,006.

III Metrología – definiciones (VIM:2012):

2.39 (6.11)

calibración, f

operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los **valores** y sus **incertidumbres de medida** asociadas obtenidas a partir de los **patrones de medida**, y las correspondientes **indicaciones** con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un **resultado de medida** a partir de una indicación

III Metrología – definiciones (VIM:2012):

NOTA 1: Una calibración puede expresarse mediante una declaración, una función de calibración, un **diagrama de calibración**, una **curva de calibración** o una tabla de calibración. En algunos casos, puede consistir en una **corrección** aditiva o multiplicativa de la indicación con su incertidumbre correspondiente.

NOTA 2: Conviene no confundir la calibración con el **ajuste de un sistema de medida**, a menudo llamado incorrectamente “autocalibración”, ni con una **verificación** de la calibración.

NOTA 3: Frecuentemente se interpreta que únicamente la primera etapa de esta definición corresponde a la calibración.

III Metrología – definiciones (VIM:2012):

- Ajuste: conjunto de operaciones realizadas sobre un sistema de medida para que proporcione indicaciones prescritas.
- La calibración compara los valores generados contra los valores medidos y da una corrección para las medidas. El ajuste modifica el instrumento de forma que lee con menos error.

III Metrología – definiciones (VIM:2012):

<u>Lectura Patrón</u>	<u>Lectura Instrumento</u>	<u>Corrección⁽¹⁾</u>	<u>Incertidumbre</u>
-78.410 °C	-78.473 °C	0.063 °C	0.150 °C
-19.940 °C	-19.920 °C	-0.020 °C	0.043 °C
0.000 °C	0.000 °C	0.000 °C	0.006 °C
29.960 °C	29.990 °C	-0.030 °C	0.043 °C
59.970 °C	60.000 °C	-0.030 °C	0.043 °C
115.000 °C	114.990 °C	0.010 °C	0.100 °C

Se calcularon los coeficientes de Calendar Van Dusen usando el método de cuadrados mínimos con la siguiente formula:

$$R = R_0 * [1 + A * t + B * t^2 + C * (t - 100) * t^3]$$

Donde

$$R_0: 100.16861 \Omega$$

$$B: -6.050E-07 \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$A: 3.985E-03 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$C: 0.000E+00 \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}$$

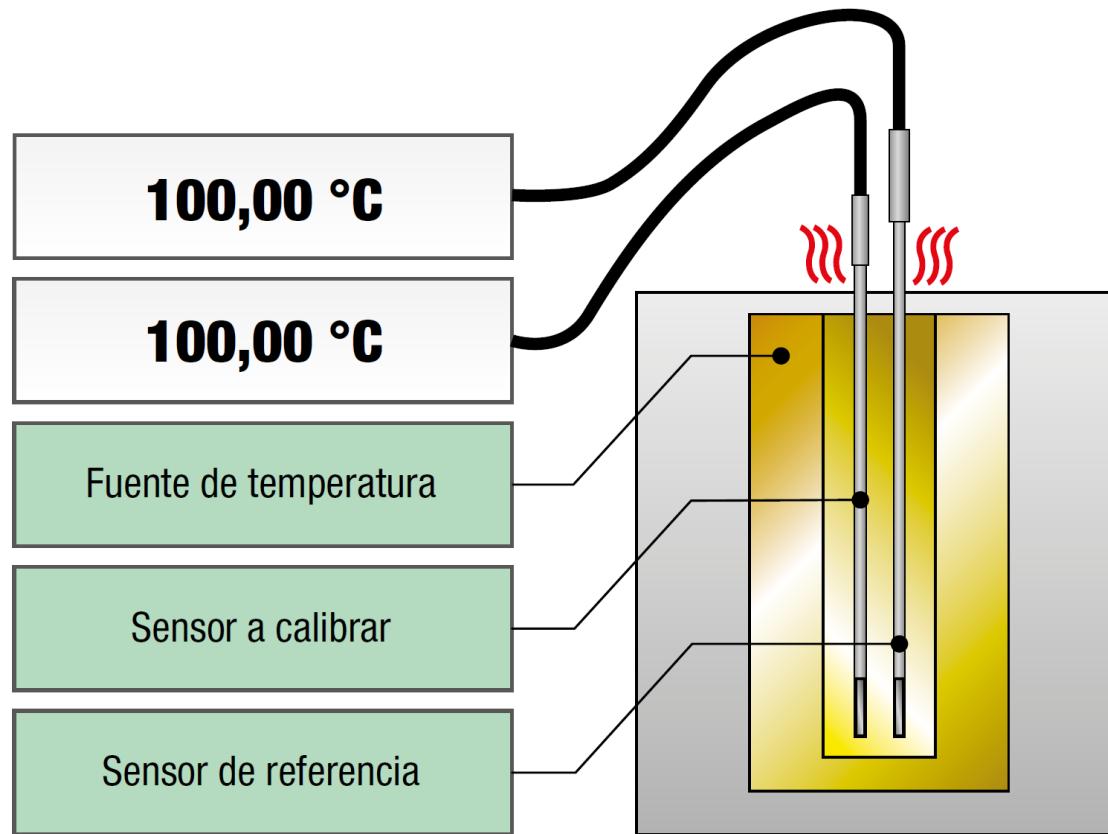
El valor de R0 es el promedio entre una medición inicial y una final a 0°C.

III

¿Cómo calibrar los sensores de temperatura?



Calibración



III Calibración

Aspectos a tener en cuenta

1. Tratamiento del sensor de temperatura
2. Preparativos
3. Fuente de temperatura
4. Sensor de temperatura de referencia
5. Medición de la señal de salida del sensor de temperatura
6. Profundidad de inmersión
7. Estabilización
8. Junta de transición/mango de la sonda de temperatura
9. Rango de temperatura calibrado
10. Puntos de calibración
11. Ajuste / compensación de un sensor de temperatura

III Calibración

1. Tratamiento del sensor de temperatura

Existen diversos sensores que poseen diferentes estructuras mecánicas y diferente robustez mecánica.

Los sensores SPRT con mayor grado de exactitud (termómetros metro de resistencia de platino de referencia) son los más sensibles

Los termopares no suelen ser tan sensibles como las sondas o sensores RTD.

Además de los choques mecánicos, un cambio rápido de temperatura puede provocar un golpe en el sensor y dañarlo o desestabilizar su exactitud.

III Calibración

2. Preparativos

- Revisión o inspección visual para comprobar que el sensor y los cables están bien y asegurar que el sensor no esté torcido o dañado.
- Limpiar el sensor antes de realizar la calibración (la contaminación externa puede suponer un problema)
- Para asegurarse de que el sensor no está dañado, es recomendable medir la resistencia de aislamiento entre el sensor y el chasis. Un aislamiento bajo es síntoma de que el sensor está dañado y que puede causar errores en las mediciones.

Calibración

3. Fuente de temperatura

Para fines industriales, es más común el uso del **bloque seco** de temperatura.



Para necesidades de mayor exactitud, se puede utilizar un **baño líquido**



III Calibración

4. Sensor de temperatura de referencia

Este tipo de sensor de referencia medirá con **mayor exactitud** la temperatura que el sensor a calibrar está midiendo.

Naturalmente, el sensor de referencia debe tener una **calibración trazable válida**.

III Calibración

5. Medición de la señal de salida del sensor de temperatura

- La mayoría de los sensores de temperatura tienen una salida eléctrica (resistencia o voltaje) que necesita ser medida y convertida a temperatura.
- Algunas fuentes de temperatura también disponen de canales de medición para los sensores, tanto para el dispositivo bajo prueba o sensor a calibrar (DUT) como para el sensor de referencia.
- Si se mide la salida eléctrica es necesario convertirla en temperatura empleando los estándares o normas internacionales.
- Cualquiera que sea el dispositivo que se utilice para la medición, hay que asegurarse de conocer la exactitud, la incertidumbre del dispositivo y que dispone de una calibración trazable válida.

III Calibración

6. Profundidad de inmersión

La profundidad de inmersión: profundidad se inserta el sensor en la fuente de temperatura.

Baño líquido con agitador:

- Exactitud de 1% – sumergir la medida de 5 diámetros de la sonda + longitud del elemento sensor
- Exactitud de 0,01% – sumergir la medida de 10 diámetros de la sonda + longitud del elemento sensor
- Exactitud de 0,0001% – sumergir la medida de 15 diámetros de la sonda + longitud del elemento sensor

La conducción de calor en un baño líquido agitado es mejor que en un bloque seco y la profundidad de inmersión requerida es menor.

III Calibración

6. Profundidad de inmersión

Para los bloques secos, hay una recomendación de [Euramet](#) en la que se expone que se debe sumergir la medida de 15 veces el diámetro de la sonda más la longitud del elemento sensor.

Ej.: si se dispone de una sonda de 6 mm de diámetro, que tiene un sensor interno de 40 mm

$$\text{Profundidad de inmersión} = ((6 \text{ mm} \times 15) + 40 \text{ mm}) 130 \text{ mm.}$$

III Calibración

7. Estabilización

Siempre se debe esperar lo suficiente para que todas las partes se estabilicen a la temperatura deseada.

III Calibración

8. Junta de transición/mango de la sonda de temperatura

Normalmente la parte del mango (o junta de transición) tiene un límite de temperatura determinado. Si se calienta demasiado, la sonda se puede dañar. Hay que asegurarse de conocer las especificaciones de las sondas a calibrar.

Si se calibra a altas temperaturas, se recomienda utilizar un escudo de temperatura para proteger el mango de la sonda.

III Calibración

9. Rango de temperatura calibrado

- Los sensores de temperatura, no se suelen calibrar todo el rango de medida de temperatura del sensor.
- A la hora de calibrar, se debe tener especial cuidado con los valores más altos del rango.
- Los puntos más fríos del rango de temperatura del sensor, en la calibración, pueden ser difíciles de conseguir y/o caros.
- Se recomienda calibrar el sensor de temperatura en el rango en el que se va a utilizar.

III Calibración

10. Puntos de calibración

- En la calibración industrial, es necesario seleccionar suficientes puntos de calibración para averiguar si el sensor es lineal.
- Normalmente, es suficiente con 3 - 5 puntos en todo el rango.
- Dependiendo del tipo de sensor o si no se tiene claro si el sensor es lineal, puede que se necesite establecer más puntos de calibración.

III Calibración

11. Ajuste / compensación de un sensor de temperatura

- La mayoría de los sensores de temperatura no se pueden ajustar o compensar.
- Si se encuentra un error en la calibración, no se puede ajustar. En su lugar, es posible utilizar coeficientes para corregir la lectura del sensor.
- En algunos casos, es posible compensar el error del sensor en otras partes del lazo de medición de temperatura

III Certificado de calibración:

- Nombre y dirección del laboratorio y el lugar donde se realizaron las calibraciones.
- Identificación única del certificado de calibración
- Datos del cliente.
- Identificación del método utilizado.
- Descripción del ítem calibrado (marca, modelo, numero serie.)
- Fecha de recepción.
- Resultados de la calibración con sus unidades de medida.
- Declaración de incertidumbre de la medición.
- Nombres, funciones y firmas de la o las personas que autorizan el certificado de calibración

Calibración en Argentina

<https://www.inti.gob.ar/areas/metrologia-y-calidad/servicio-argentino-de-calibracion/servicio-argentino-de-calibracion>



CRITERIOS DE SELECCIÓN

III Selección de sensores de T°

Para la elección de un sensor de temperatura se debe tener en cuenta:

Rango de T° a medir, máximo/mínimo, T° media.

Precisión y resolución deseadas.

Naturaleza del medio u objeto a medir (líquido, sólido, gaseoso).

Estado de movimiento del medio u objeto a medir.

Naturaleza del medio externo.

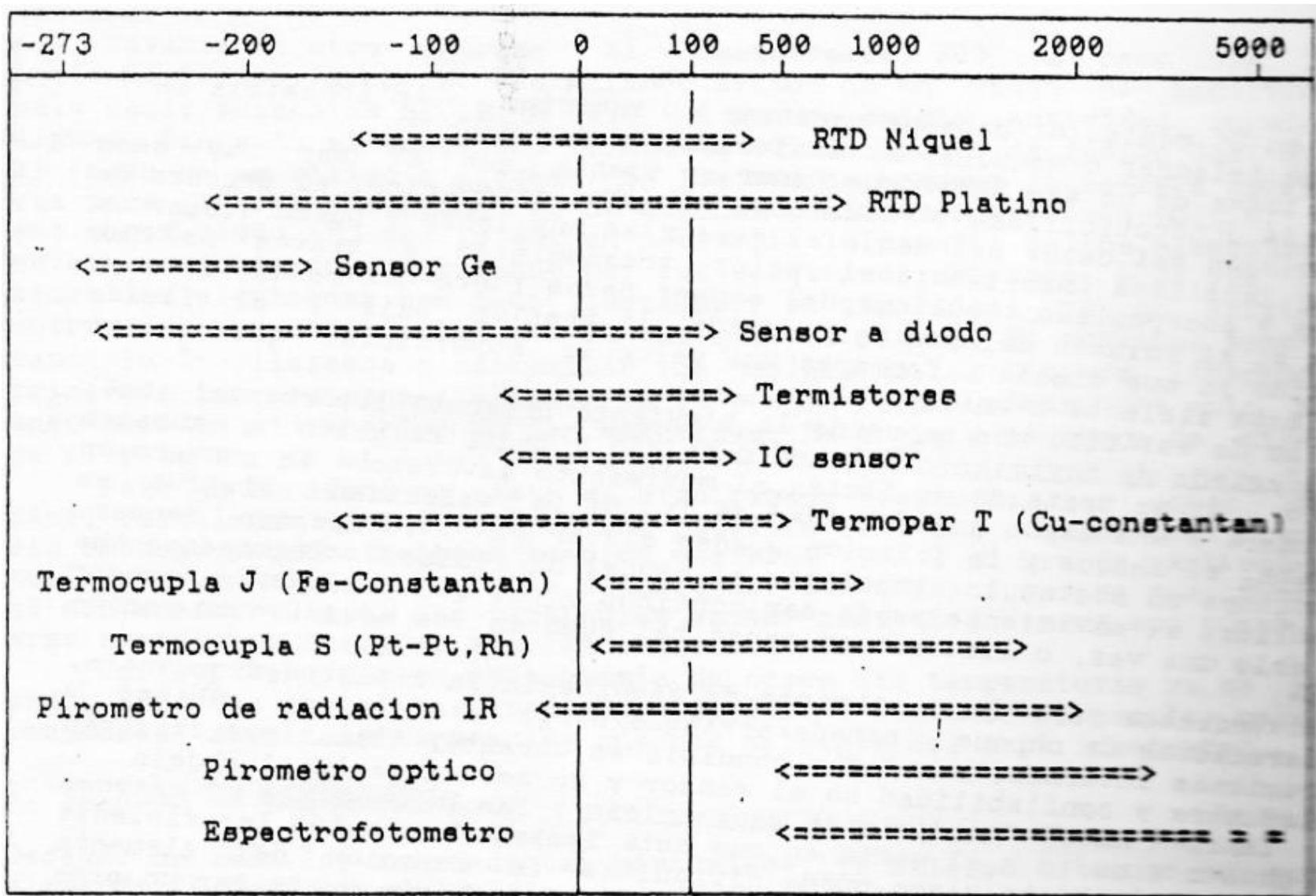
Distribución de la temperatura.

Condiciones geométricas (dimensiones y formas del objeto a medir).

Distancia entre el sensor y la instrumentación.

Costo y disponibilidad.

Rango de utilización de sensores de T°



Comparación de tecnologías de sensores de T°

	TERMOCUPLA	RTD	TERMISTOR	CIRCUITO INTEGRADO
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Generador, constituido por sólo 2 cables. - Simple, pequeño. - Barato. - Amplia variedad. - Amplio rango de T° - Recios, resistentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Más estable. - Más lineal que la termocupla. - Más preciso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rápido. - Medición mediante 2 cables. - Alta sensibilidad. - Baratos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Son los más lineales. - Tienen la mayor salida. - Bajo costo. - Varias formas de salida (V, I, frecuencia, digital) - Simplicidad de calibración. - Pueden tener otras funciones asociadas. - Facilidad de conectar en red
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Pobre linealidad. - Bajo voltaje ($50\mu V/^{\circ}C$). - Requiere T° de referencia. - Menos estable. - Menos sensible. 	<ul style="list-style-type: none"> - Caro - Requieren alimentación - Low ΔR (baja sensibilidad) - Baja resistencia absoluta (aprox. 100Ω) - Autocalentamiento (deben alimentarse con I muy bajas) 	<ul style="list-style-type: none"> - No lineal. - Rango de T° limitado. - Frágil. - Requiere alimentación. - Autocalentamiento. - Grandes (PTC) 	<ul style="list-style-type: none"> - Rango de T° limitado. - Requiere alimentación. - Lento. - Configuraciones limitadas. - Frágiles



APLICACIONES Y FABRICANTES

III Mercado de los sensores de temperatura

Se proyecta que el tamaño del mercado global de sensores de temperatura crezca de USD 6.3 mil millones en 2020 a USD 8.8 mil millones para 2027, registrando una tasa compuesta anual del 4.8%. El crecimiento de la industria de los sensores de temperatura está impulsado principalmente por la creciente penetración de los **sensores de temperatura en equipos de salud avanzados y portátiles**, la creciente demanda de sensores de temperatura en el sector automotriz y la creciente adopción de sistemas de automatización de viviendas y edificios.

Mercado de los sensores de temperatura

El mercado de sensores de temperatura está dominado actualmente por:

- Honeywell (EE. UU.),
- TE Connectivity (Suiza),
- Texas Instruments (EE. UU.),
- Endress + Hauser (Suiza) y
- Siemens (Alemania).

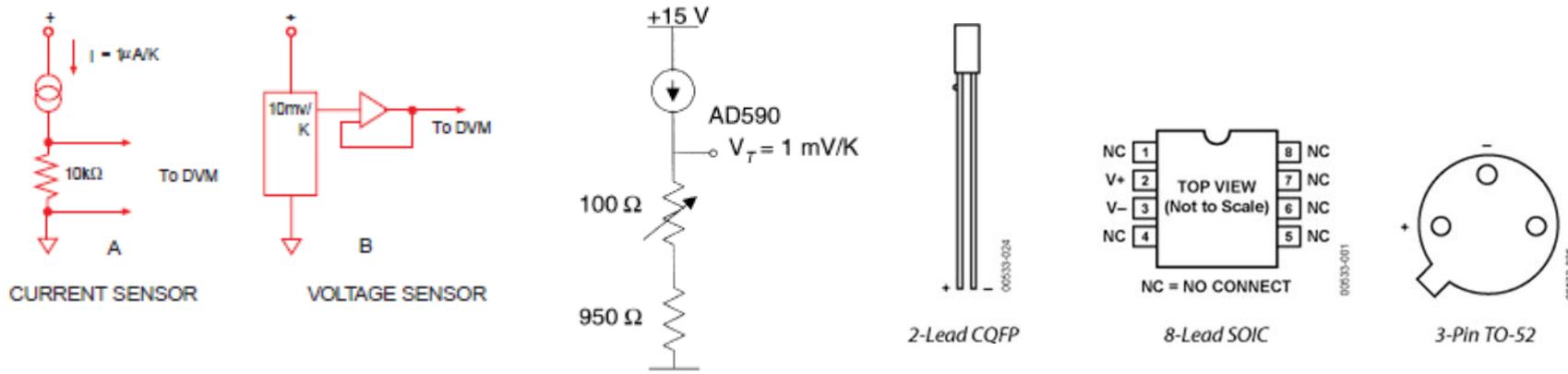
Mercado de los sensores de temperatura

Otros actores que operan en el mercado son:

- Analog Devices (EE. UU.),
- Dwyer Instruments (EE. UU.),
- Maxim Integrated (EE. UU.),
- Maxim Integrated (Healthcare sensors)
- WIKA Instrument (Alemania),
- Amphenol (EE. UU.) y
- Emerson (EE. UU.).

Ej del IPTAT: el venerable AD590

Una vez que tenemos un sensor cuya “Current I is Proportional To Absolute Temperature” IPTAT for short, podemos convertirlo rápidamente en salida analógica de tensión o corriente:



El venerable AD590 viene en una variedad de empaques, de 2 y 3 patas y DIP, también el sufijo (J, K, etc...) indica diferentes tolerancias a la sensibilidad nominal $1 \mu\text{A}/\text{°K}$, etc...

Recomendamos visitar hoja de datos de AD590 en Analog Devices

More IC based T° sensors: el LM134/334

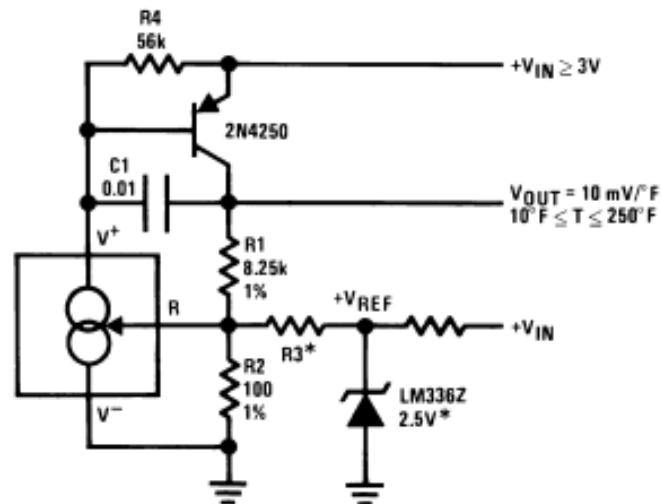
El LM334 es una fuente de corriente programable de $1\mu\text{A}$ a 10 mA con una simple resistencia Rset y, dado que la corriente es PTAT, entre otras muchas aplicaciones puede usarse para sensar T°.

$$I_{SET} = \frac{(227 \mu\text{V}/^\circ\text{K}) (T)}{R_{SET}}$$

En la figura se muestra una aplicación donde se aprovechó la electrónica para convertir la salida de T° absoluta en °K a T° a sensar en °F (Farenheit)

Recomendamos visitar hoja de datos...

Ground Referred Fahrenheit Thermometer



More IC based T° sensors

Hay sensores que suman otras funciones, por ej:

- LM3911, T° controller
- TMP01 temperature sensor VPTAT and T° controller
- El DS1620 mide la T° con salida de 9 bit y protocolo de comunicación en 3 hilos. Puede ser usado como controlador tipo termostato
- DS18B20 - Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer, ideal para redes de sensores de T° en sistemas de medición distribuidos con mínimo cableado por ej. sensado de T° en edificios

Recomendamos visitar las hojas de datos.

III Selección de sensores de temperatura:

Texas Instruments:

<https://www.ti.com/sensors/temperature-sensors/products.html>

Honeywell:

https://www.mouser.com/Honeywell/Sensors/Temperature-Sensors/_N-7gz5o?P=1zosfgt

||| Otros fabricantes

www.ifm.com

www.turck.us

Portátiles para mantenimiento

www.testo.com

Adhesivos por cambio de estado

www.testo.com

III Software de selección industriales:

Endress+Hauser (Applicator):

www.endress.com

Siemens:

www.pia-portal.automation.siemens.com

Yokogawa:

www.yokogawa.com/selection-tool/

Emerson:

www.emerson.com

III Termometría infrarroja

www.fluke.com

Fluke Raytek

www.flir.com



III Equipos para calibración

Fluke

Ametek

Beamex





BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Bibliografía recomendada

- Temperature Reference Section Z – Omega Handbook
- Handbook of transducers, Cap 9, Norton
- Hojas de datos AD590, DS1620, TMP01, DS1620, DS18B20
- Cap 9.1.1 Thermometers Based on Semiconductor Junctions, Sensors and signals conditioning, Pallas Areny