
NOTAS TECNICAS

PIROMETRIA CON GALVANOMETROS TERMoeLECTRICOS

Gabriel RODRIGUEZ J*

RESUMEN

Se describen los principios de funcionamiento de los pirómetros a termocuplas. Se señala el campo de aplicación de los diversos tipos que se fabrican y la manera de instalarlos. Se presentan tablas y gráficos con información sobre sus características y un código de los símbolos usuales para designarlas.

INTRODUCCION

La medición de temperaturas tiene suma importancia tanto en el campo científico como en el tecnológico, porque de la temperatura dependen infinidad de fenómenos y procesos físicos y químicos.

*El hombre se ve en la necesidad de medir temperaturas que van desde las cercanías del cero absoluto (-273°C) hasta unos 6.000°C que es la temperatura superficial del Sol. No obstante, la mayoría de los procesos de interés más inmediato se realizan entre márgenes menores. Así, por ejemplo, en refrigeración se trabaja entre unos -50° a $+10^{\circ}\text{C}$; en secamiento, calefacción, fermentación, etc. el rango es alrededor de la temperatura ambiente, digamos de -10° a 100°C ; en procesos de destilación, industrias químicas, etc. la temperatura corriente está entre 100° y 400°C , y por citar un último ejemplo, en el campo metalúrgico se trabaja entre 200 y 2.000°C .

Para medir tan amplio rango de temperaturas se han ideado numerosos tipos de termómetros, utilizando diversos fenómenos físicos: dilatación de líquidos, sólidos o gases; variación de las propiedades eléctricas, fenómenos ópticos, etc.

En la fig. 1 se resume el rango de temperaturas que cubren los distintos tipos de termómetros.

*Investigador del IDIEM. Laboratorio de Calor.

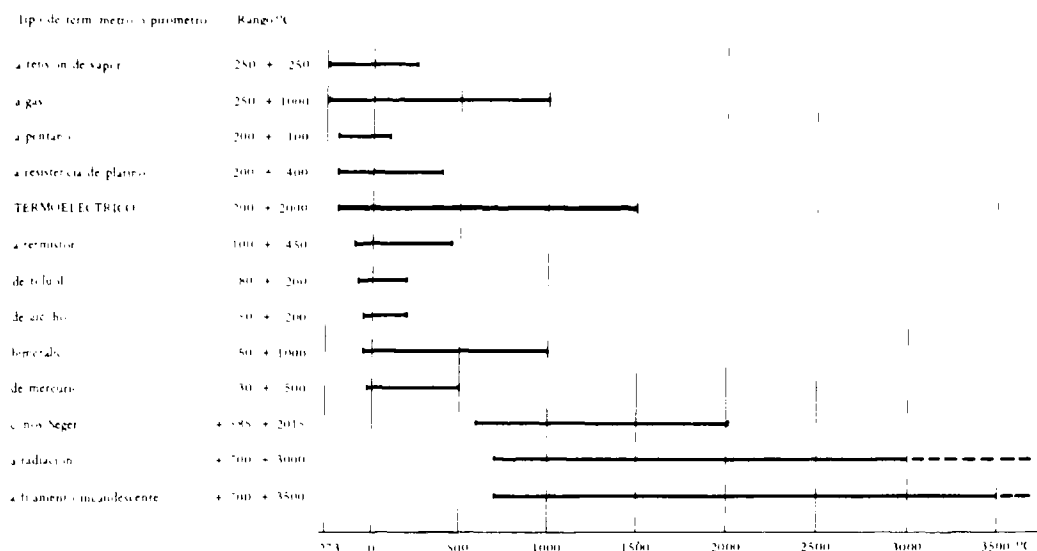


Fig. 1. Tipos de termómetros y rangos de temperatura que cubren.

Vemos que el rango más interesante (-200° a $+2000^{\circ}\text{C}$), lo cubren los pirómetros o termómetros termoelectrónicos, que en el presente trabajo son motivo de nuestra atención.

Además tienen la ventaja de ser seguros, económicos, reproducibles muy maniobrables y versátiles. Es por estas razones que se les emplea extensamente, tanto en el laboratorio como en la industria.

Constan fundamentalmente de una sonda termoelectrónica que acciona directamente un galvanómetro, un circuito controlador, un sistema registrador o una combinación de ellos.

En este trabajo se describen brevemente sus principios de funcionamiento, los diversos tipos que se fabrican y la manera de instalarlos y comprobarlos. Se agregan numerosas tablas, gráficos explicativos y códigos normalizados para interpretar la simbología que los rige.

TERMoeLECTRICIDAD Y TERMOCUPLAS

Si se unen dos conductores de distinto material por sus extremos, Fig. 2, y estas uniones se mantienen a distintas temperaturas, circulará por los conductores una corriente proporcional a la diferencia de temperatura entre los extremos (efecto Seebeck).

En la práctica, la soldadura de referencia permanece a temperatura ambiente, en general dentro del mismo instrumento. Como usualmente el galvanómetro está a apreciable distancia de la soldadura caliente (entre 1 m a unos 100 m) y sería muy costoso prolongar los metales de la termocupla hasta esas distancias, se intercala entre la termocupla y el galvanómetro un cable de conexión llamado cable de compensación, hecho de aleación especial que no forma termocupla

con los metales de la termocupla ni con los bornes del instrumento, Fig. 3, no alterando prácticamente las indicaciones del galvanómetro.

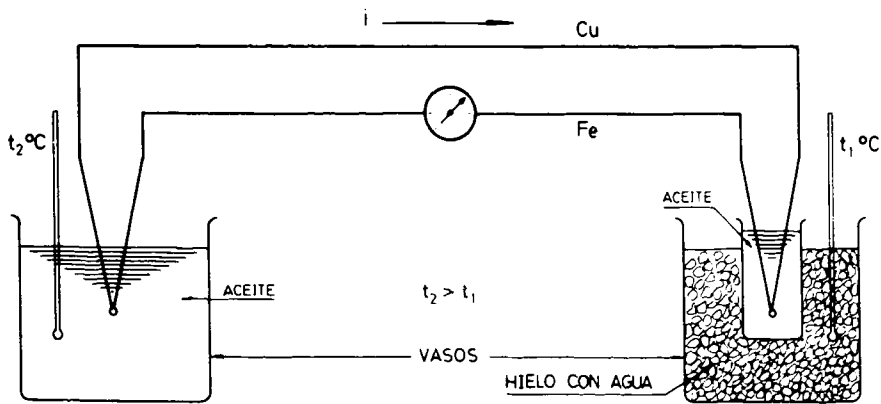


Fig. 2. Principio del fenómeno termoeléctrico.

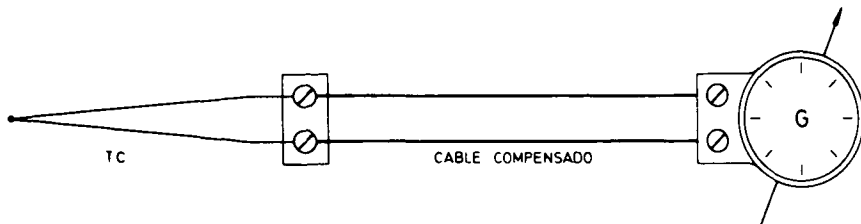


Fig. 3. Conexiones de una termocupla al galvanómetro a través de un cable compensado.

Si bien es cierto que cualquier par de metales forma una termocupla (TC) sólo son algunos los que, por sus cualidades relevantes, se usan en la práctica. Cada una de estas termocuplas ofrece curvas típicas de FEM/temperatura, Fig. 4. Para cada una de ellas se fabrican galvanómetros especiales, que generalmente están graduados directamente en grados de temperatura y más raramente en milivolts (mV).

Los valores exactos se encuentran en las tablas internacionales que dan los valores de FEM respecto a la temperatura cuando la soldadura fría se encuentra a 0 °C.

Las Tablas I y II muestran las principales características de estas TC y de los metales o aleaciones que las componen.

Por su parte cada tipo de TC exige un tipo de cable de compensación, algunos de los cuales se muestran en la Tabla III.

De aquí se deduce que es necesario respetar la polaridad de los cables compensados para no anular su efecto.

Las termocuplas tienen, generalmente, dimensiones de entre 20 y 100 cm, y van aisladas, por ejemplo, con cuentas de cerámica y protegidas por vainas cerámicas o metálicas. Los dos extremos libres de los alambres de la TC concluyen en una placa de cerámica con dos terminales en donde se fijan y desde donde parte el cable compensado hasta el galvanómetro.

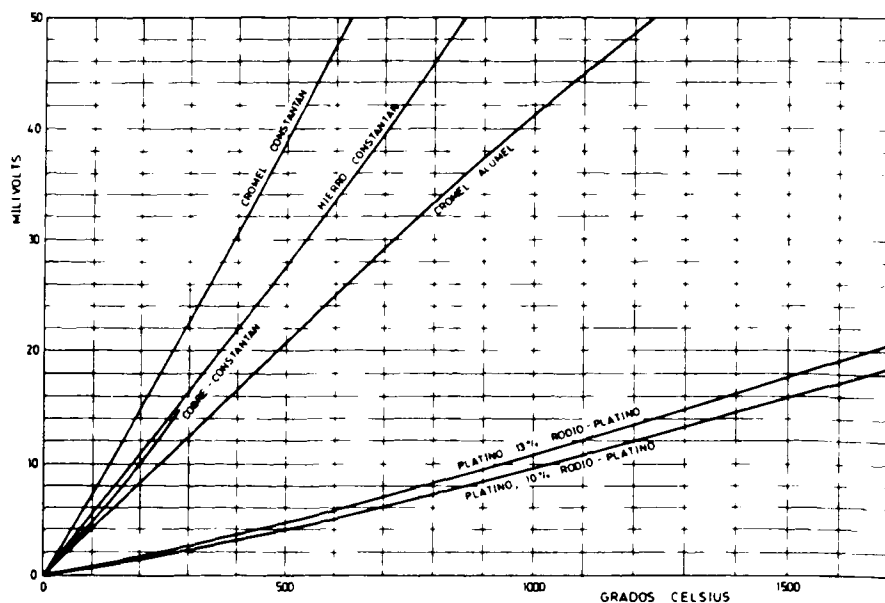


Fig. 4. Relación de FEM-Temperatura de las termocuplas mas usuales.

TABLA I

CARACTERISTICAS DE LAS TERMOCUPLAS (TC) MAS COMUNES

TC	Compo- sición	Poder termoelect. $\mu V/^{\circ}C$	Resis- tividad $10^{-6} \Omega \cdot cm$	Rango utilización máx., $^{\circ}C$	Temperatura práctica de uso, $^{\circ}C$
Cu / Constantan	Cobre Aleación Cu Ni	41	1,7 50	250 a 600	350
Fe / Constantan	Hierro Aleación Cu Ni	56	10 50	250 a 1000	600
Cromel / Alumel	Aleación Ni Cr Mo Aleación Ni Al Si Mn	41	10 100	500 a 1200	1100
Cromel / Constantan	Aleación Ni Cr Aleación Cu Ni	70	100 50	300 a 1000	700
Pt Rh 10/ Pt	Aleación Pt Rh Platino	9,5	10 18	800 a 1600	1500
Pt Rh 13/ Pt	Aleación Pt Rh Platino	10,5	19 20	700 a 1600	1500

TABLA II
CARACTERISTICAS DE LOS METALES USADOS EN TC

Nombre	Composición %	Polaridad	Observaciones
Cu/ Constantan	Cu	+	No magnético
	54 Cu, 46 Ni	-	No magnético
Fe/ Constantan	Fe	+	Magnético
	54 Cu, 46 Ni	-	No magnético
Cromel/ Alumel	90 Ni, 9,8 Cr, 0,2 Mo	+	Menos magnético
	94 Ni, 2 Al, 1 Si, Z, 5 Mo	-	Magnético
Cromel/ Constantan	90 Ni, 10 Cr	+	Magnético
	55 Cu, 45 Ni	-	No magnético
Pt Rh/ Pt	90 Pt, 10 Rh	+	No magnético
	Pt	-	No magnético

TABLA III
CARACTERISTICAS DE CABLES COMPENSADOS EUROPEOS

TC	Naturaleza cable comp.		Símbolo	Rango de temp. sin gran error °C
	+	-		
Cu/Const.	Cobre	Constantan T	TZ	20 a 100
Fe/Const.	Hierro	Constantan J	JZ	0 a 100
Cromel / Alumel	Niquel-Cromo	Aleación Ni	NZ	0 a 200
	Cobre	Constantan W	VZ	0 a 80
	Hierro	Cupro Niquel W	WZ	0 a 200
Pt Rh 10/ Pt	Cobre	Cupro Niquel S	SZ	0 a 100
	Cobre	Cupro Niquel SS	SSZ	0 a 200

Normalmente la longitud de la TC y su vaina no debe ser inferior a unas 20 veces el diámetro de la misma, para garantizar que la punta sensible esté realmente a la temperatura que se quiere medir. Esto es importante tenerlo en cuenta cuando se repara una TC cortada o desoldada en su punta. Puesto que la cabeza está en el exterior a temperatura ambiente, el flujo térmico desde la punta a la cabeza puede ser tal (si la TC es muy corta) que la soldadura no esté a la temperatura del horno y entonces sus lecturas induzcan a engaño. En todo caso, dentro del horno debe quedar una longitud no inferior a 10 veces el diámetro.

La Tabla IV muestra las características de algunas vainas comunes.

El tipo de termocupla, aislación, vaina y montaje mecánico depende de las condiciones de cada caso, pero en conjunto deben reunir los siguientes requisitos:

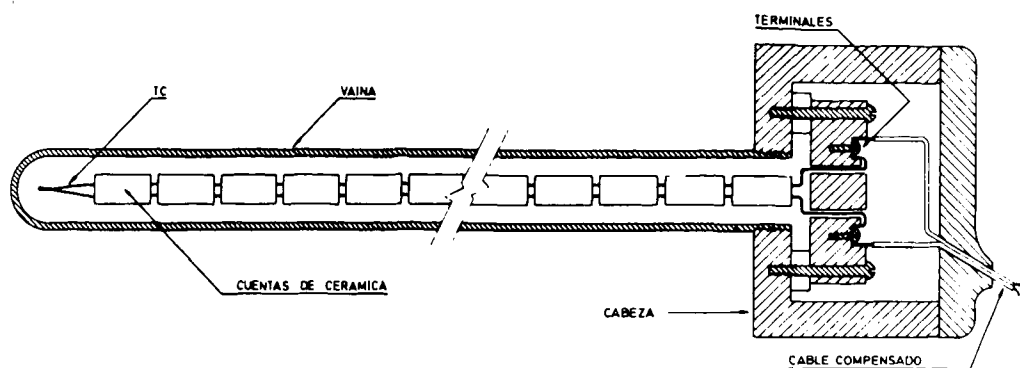


Fig. 5. Disposición interna de una termocupla en su vaina, para uso en hornos de alta temperatura.

TABLA IV
CARACTERISTICAS DE VAINAS PARA TC

Material	Temperatura máx. °C	Empleo	Observaciones
Hierro	500	Alcalis, Zn	Deforma $> 400^{\circ}\text{C}$
Bronces	500	Vapor	Corrosión $> 500^{\circ}\text{C}$
Acero	600	Fund. Zn o Pb	Sensible a S y O
Acero inox.	1100	Gas oxidante o reductor	
Níquel	1100	Cianuros alcal.	Sensible a S y C
Porcelana	1200	Uso general	Sensible a variaciones de temperatura
Tierras refractarias	1400	----	Poroso
Grafito	1700	Acero fund.	----
Oxido de zirconio	2000	----	----

- alcance suficiente de temperatura dentro del margen de trabajo.
- buena conductividad térmica.
- buena aislación eléctrica a la temperatura de trabajo.
- resistencia a la corrosión, según la atmósfera interna, externa y temperaturas de ambas.

Cabe hacer notar que cuando trabaja el conjunto de la sonda termoelectrica en posición horizontal, si la temperatura es muy alta para sus características, las vainas se curvan con el tiempo, siendo imposible desmontarlas después.

En equipos portátiles suelen haber puntas o sondas especiales para cada propósito, por ejemplo, inmersión para líquidos, para gases, para temperaturas de superficies o formas complicadas, etc.

También hay termocuplas especiales para altas temperaturas como las de

tungsteno-iridio para 2000 °C: grafito-carburo de boro para 2500 °C, etc.

En general la FEM producida por la TC impulsa una pequeña corriente i a través de un circuito eléctrico, Fig. 6, formado por las siguientes resistencias ohmicas:

R_{TC} = Resistencia de la termocupla A-S-A'

R_b = Resistencia de los contactos B-B'

R_c = Resistencia del cable compensado c-c'

R_d = Resistencia de los contactos D-D'

R_e = Resistencia de los alambres de conexión E y E'

R_a = Resistencia de ajuste

R_g = Resistencia interna del galvanómetro

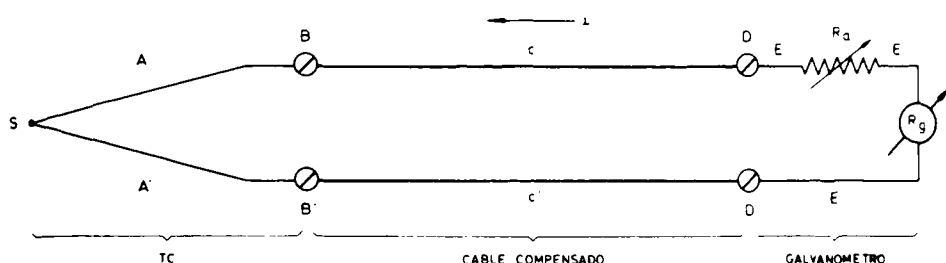


Fig. 6. Circuito que debe recorrer una corriente termoelectrónica en un pirómetro.

La resistencia total del circuito será la suma de las que hubiese en él, en nuestro caso:

$$R_T = R_g + R_a + R_e + R_{e'} + R_d + R_{d'} + R_c + R_{c'} + R_b + R_{b'} + R_{TC}$$

El conjunto de resistencias $R_T - R_g$ se llama resistencia externa del instrumento, R_E .

Según la ley de Ohm, la resistencia R_T deberá permanecer constante para que las indicaciones del galvanómetro sean proporcionales a la FEM de la TC para la cual fue calibrado. Como esto no es posible en la práctica, R_a se coloca en una parte accesible del instrumento galvanométrico y se hace regulable (variable) de tal modo que, para cualquier caso particular, el conjunto R_T se pueda hacer igual al que se usó para calibrar el galvanómetro. En la carátula viene generalmente indicado la resistencia externa para la cual son válidas las lecturas de la escala del instrumento.

Bastará entonces con ajustar R_a de tal modo que el conjunto $R_E = R_T - R_g$ sea el valor indicado. En las normas alemanas este valor se ha estandarizado en 20 Ω .

Para determinar la R_E se hace uso de tablas proporcionadas por los fabricantes en donde se dan las resistencias características de cada material.

La Tabla V da la resistencia por metro de las TC más usuales, de acuerdo a los diámetros de los alambres.

Es conveniente que el cable compensado sea suministrado por el mismo fabricante de la TC, pues hay diferencias de aleaciones e incluso de código de

TABLA V
RESISTENCIA DE LOS ALAMBRES PARA TC MAS USUALES

TC	ϕ mm	Resistencia combinada Ω/m a 20°C
Cu/Const.	0,5	2,536
	1,0	0,633
	1,5	0,282
Fe/Const.	0,5	3,20
	0,8	1,25
	1,0	0,80
	1,5	0,35
	3	0,09
Cromel/ Alumel	0,64	3,10
	1,02	1,24
	1,62	0,48
	2,30	0,24
	3,26	0,12
	4,11	0,075
Pt Rh 10%/Pt	0,3	4,35
	0,5	1,55

colores según el tipo de TC y polaridad del cable.

La resistencia de los contactos B, B', D y D', si están los cables y tornillos adecuadamente limpios y apretados, deben valer prácticamente 0 Ω . De este modo, la resistencia total puede calcularse con solo saber el diámetro y longitud de la TC y del cable compensado. Si estos datos no se pueden determinar, se hace necesario medir con un puente de Wheastone, la resistencia del circuito D, C, B, A, S, A', B', C, D', procediendo entonces al ajuste de R_a de modo que R_E sea el indicado por el fabricante del galvanómetro.

El galvanómetro indicador

El instrumento que mide la FEM producida por la cupla termoelectrica es corrientemente un galvanómetro de bobina móvil (tipo d'Arsonval). Consta de un potente campo magnético, proporcionado por un imán en cuyo entrehierro gira una bobina de varias espiras, Fig. 7. Al circular por ella una corriente continua forma su propio campo magnético que se suma o resta al del imán, produciéndose un momento de giro sobre el eje que pivotea la bobina. Unos pequeños espirales elásticos (o "pelos") se oponen a ese momento, equilibrando la posición de la aguja, solidaria a la bobina, en algún punto de la escala. Dicha escala se calibra directamente en grados de temperatura aunque a veces, en los portátiles, se hace también en mV, lo que permite usar distintos tipos de TC.

La corriente eléctrica generalmente entra por uno de los espirales y sale por el otro.

La bobina, la aguja solidaria, los pivotes o cintas de suspensión y los contrapesos forman lo que se llama el sistema móvil. Cuando los muelles espirales o

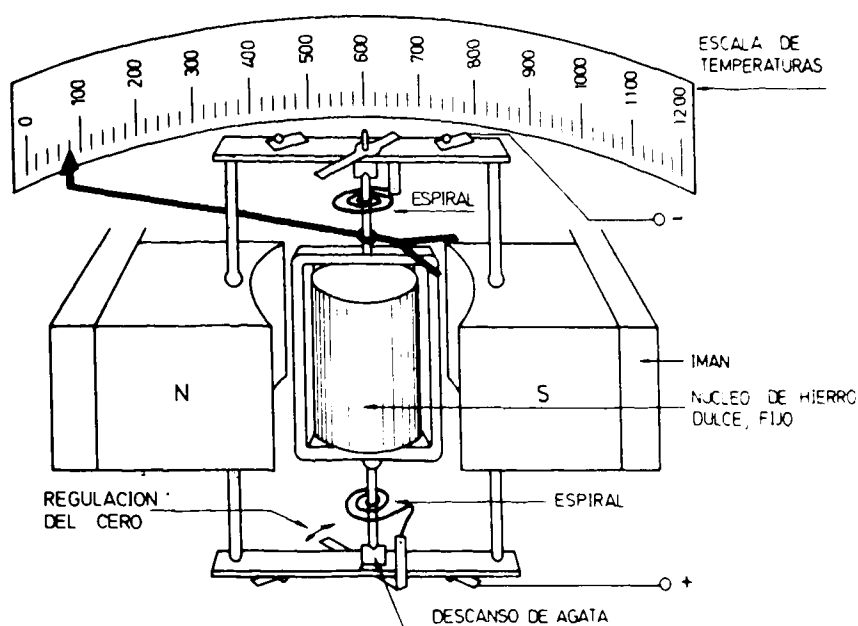


Fig. 7. Disposición interna de un galvanómetro.

“pelos” están desmontados, el sistema móvil debe estar en equilibrio indiferente, es decir, su centro de gravedad debe estar sobre el eje de los pivotes. Ello se consigue por medio de los contrapesos regulables. De este modo, cuando los espirales están conectados, la aguja debe quedar aproximadamente en el cero de la escala. Un tornillo, regulable desde el exterior, permite girar ligeramente la base de uno de los espirales de modo de colocar exactamente en cero la aguja. Este cero debe chequearse de vez en cuando, con el instrumento desconectado de su circuito.

Si el sistema móvil está desequilibrado (centro de gravedad fuera del eje la escala del instrumento no corresponde a sus indicaciones (instrumento descalibrado). Ello se prueba del modo siguiente:

1. Estando el instrumento en su posición normal de uso (vertical u horizontal) se desconectan sus terminales y con un destornillador se coloca la aguja exactamente en cero, Fig. 8, a.
2. Se gira el instrumento de modo que la aguja quede horizontalmente colocada y se anota la posición de ella, en la escala, Fig. 8, b.
3. Se gira el instrumento en 180° y se anota la nueva posición de la aguja, Fig. 8, c.
4. Se coloca ahora el instrumento de modo que la aguja quede en posición vertical. Se anota su posición, Fig. 8, d.
5. Finalmente se gira el instrumento en 180° y se hace una nueva lectura.

Si en cualquiera de estas posiciones la aguja se desplaza más de una división, en uno u otro sentido, el sistema móvil está desequilibrado según las normas y por tanto exige reparación. El uso de un tal instrumento daría lecturas con errores que pueden ser superiores al 2%, y lo que es peor, un ligero desnivelamiento produciría lecturas distintas.

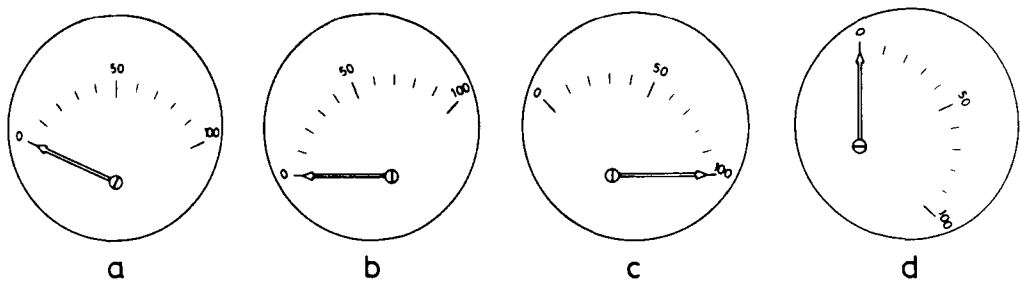


Fig. 8. Posiciones de prueba para comprobar el equilibrio del sistema móvil de un galvanómetro.

Antes de terminar la parte correspondiente al indicador galvanométrico, es muy útil conocer la interpretación de la simbología de la carátula de los mismos, que en el caso de las normas alemanas y en general europeas es más que suficiente para conocer las características del instrumento y los valores de calibración para su ajuste. No sucede lo mismo con los instrumentos de origen estadounidense e ingleses que no traen suficientes indicaciones, lo que exige tener los catálogos del fabricante y muchas veces las hojas de servicio.

La Tabla VI indica la simbología para describir el sistema motor del instrumento (útil para cualquier instrumento eléctrico) y la Tabla VII nos da los símbolos de uso de dichos instrumentos.

TABLA VI
SIMBOLOGIA PARA EL SISTEMA MOTOR DE ALGUNOS INSTRUMENTOS

Nº	Símbolo	Descripción del instrumento
1		de bobina móvil, imán permanente
2		de bobinas cruzadas
3		de imán móvil
4		de hierro móvil
5		electrodinámico
6		térmico de alambre caliente
7		bimetálico
8		convertidor termoelectrico
9		convertidor termoelectrico aislado
10		convertidor termoelectrico con bobina móvil
11		de bobina móvil con rectificador

TABLA VII
SIMBOLOGIA DE USO

Nº	Símbolo	Tipo de empleo
1	—	Corriente continua
2	~	Corriente alterna
3	— ~	Corriente continua y alterna
4	⊥	Posición vertical de uso
5	⌊	Posición horizontal de uso
6	↗	Posición inclinada de uso
7	○	Blindaje magnético
8	0,5	Clase del instrumento (Ej. 0,5)
9	⊙	Blindaje electrostático
10	☆	Tensión de prueba Ej. 3 kV
11	⊖	Dispositivo de ajuste de cero
12	!	Llamado de atención

Según las normas, el cuadrante de un pirómetro debe mostrar los siguientes datos:

1. Nombre o marca de fábrica.
2. Tipo de instrumento: según simbología o nombre propio del fabricante. Ej.: indicador, controlador, registrador monocanal, etc.
3. Número de fabricación
4. Fecha de fabricación. Estos dos datos pueden ir en un solo guarismo, por ej.: 209387 (Nº 2093 fabricado en agosto de 1967).
5. Símbolo de la magnitud a medir, ej.: °C, mV, °F, etc.
6. Tipo del sistema motor del instrumento, ej.:  Magneto eléctrico a bobina móvil (tipo d' Arsonval).
7. Clase de exactitud. Hay seis clases que indican el máximo error en % 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5 y 2,5.

Los tres primeros son instrumentos de precisión, en tanto que los demás son industriales.

8. Tipo de corriente. Ej.: (-): corriente continua.
9. Alcance máximo en mV a plena escala.
10. Posición de uso del instrumento. Ej.: ⊥ : vertical.
11. Tensión de aislación de prueba. Ej.: ☆ : 2 kV.

12. Temperatura ambiente. Ej.: 20 °C.

13. Indicaciones varias. Ej.: tornillo de regulación cero, llamados de atención, etc.

Veamos un ejemplo real, Fig. 9.

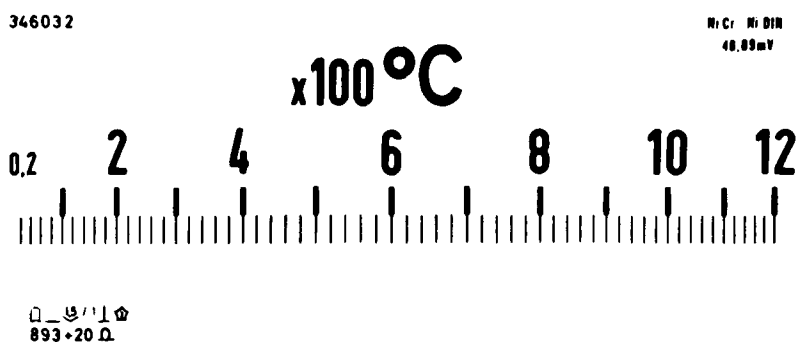


Fig. 9. Carátula característica del instrumento de un pirómetro para temperaturas de 20 a 1200 °C.

Refinamiento de los instrumentos de calidad

En este acápite, pasaremos lista a los más comunes refinamientos que suelen tener los instrumentos de cierta calidad y especiales.

Error de paralaje

Para evitar en lo posible el error de lectura que se comete al no poner el ojo exactamente en la prolongación del plano perpendicular a la escala y que pasa por el eje de la aguja, se toman dos medidas constructivas:

- a) Se coloca tras la aguja una cinta especular, que refleje la imagen de la aguja. Cuando aguja e imagen se confunden se hace la lectura.
- b) Se construye la aguja muy fina y acuchillada, con el plano de la cuchilla perpendicular a la escala. El mínimo error de paralaje se comete al hacer la lectura cuando la aguja se proyecta en su mínimo espesor.

Ambos métodos a la vez se usan en los instrumentos de clase 0,1; 0,2; 0,5 e incluso a veces en los de clase 1,0%.

Corrección automática de la lectura por variación de la temperatura ambiente.

Puesto que la FEM producida es función de la diferencia entre la temperatura alta y la baja o ambiente, al variar ésta se producen errores inaceptables. Modernamente todos los instrumentos vienen corregidos por esta causa, generalmente en forma automática. Hay varios métodos para este propósito, unos eléctricos otros mecánicos. No es el caso describirlos para no alargar estas páginas innecesariamente. Pero sí es necesario saber si el instrumento en uso es de corrección automática o manual y conocer qué hacer en cada caso.

Corrección automática. Con el instrumento desconectado de su circuito externo se coloca la aguja, en la temperatura del ambiente inmediato al instrumento, moviendo el tornillo de cero. Esta temperatura se puede leer en un termómetro inmediato a los bornes. Esta corrección se hace solo una vez, al instalar el aparato o al hacer eventuales reparaciones.

Corrección manual. Se debe hacer la corrección cada vez en una cantidad indicada generalmente por un índice auxiliar (bimetálico) o un pequeño termómetro adjunto. En este caso la temperatura real será la que indique la aguja del instrumento más la temperatura ambiente que da el índice o termómetro auxiliar.

Instrumento controlador.

Cuando el instrumento no sólo es indicador de la temperatura sino también controlador es decir, se comporta como un termostato que enciende y apaga por ejemplo un horno, es necesario que en el caso de que por vejez, corrosión u otro accidente de la TC ésta se corte, el horno no siga indefinidamente encendido aumentando su temperatura. Se hace de un circuito como el de la Fig. 10.

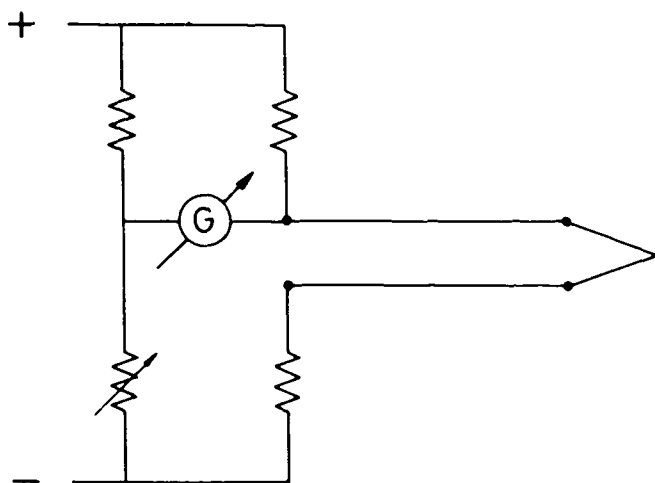


Fig. 10. Circuito de protección para un horno controlado por un pirómetro, en el caso de interrumpirse la corriente termoelectrónica.

Si se corta la TC se desequilibra el puente y circula por el galvanómetro una pequeña corriente que lleva la aguja al fondo de la escala, desconectándose el horno indefinidamente. Es peligroso usar un instrumento sin este tipo de protección si el horno o su carga se dañase por exceso de temperatura. Esto es importante sobre todo en hornos de uso continuo.

Un instrumento galvanométrico puede leer tantas temperaturas distintas como se quiera si se le coloca un conmutador que cambie la TC de entrada al galvanómetro. Esta conmutación puede ser manual, por giro de una llave, o automática por medio de un motor que gira el conmutador. El número de canales suele ser de 3, 6, 12 y en algunos casos hasta 24.

Controladores automáticos. Todos tienen un indicador auxiliar movable desde el exterior para fijar la temperatura de trabajo del horno que se regula, pero funcionan de diversos modos.

- a) **Electromecánicos.** Un pequeño motor eléctrico mueve un sistema mecánico que aprisiona la aguja cada cierto tiempo y al hacerlo mueve un interruptor de mercurio, conectando la energía al horno si la aguja se aprisionó antes del indicador y desconectando si la aguja indicaba una temperatura superior.

- b) El indicador auxiliar lleva consigo una pequeña bobina perteneciente a un circuito electrónico. Al pasar la aguja indicadora frente a la bobina, varía ligeramente su inductancia, a cuyo cambio el circuito comanda un contactor, produciendo los mismos efectos que a).
- c) Si en vez de la bobina de un oscilador se coloca un rayo de luz frente a una fotocelda, al ser interrumpido el haz de luz por interposición de una parte de la aguja, el circuito electrónico siguiente comanda un contactor en la misma forma ya descrita.

Registradores. Si un sistema de relojería eléctrico o a cuerda arrastra una carta de papel frente a la aguja, y ésta por un sistema indirecto marca en el papel una huella, queda registrada en el papel una curva temperatura-tiempo, muy útil para procesos en que es necesario saber la temperatura en cada instante.

Los últimos dos tipos constituyen complicados instrumentos cuya mantención debe hacerse atendiendo a las recomendaciones de cada fabricante y que es casi imposible describir por la infinidad de artificios distintos que presentan las diferentes marcas.

Contrastación de los galvanómetros

Los golpes mecánicos o la circulación accidental excesiva de corriente o la exposición del galvanómetro a temperaturas muy por sobre la normal o los cambios de tipos de TC, etc. pueden hacer necesario recalibrar o contrastar los instrumentos, una vez reparados.

Los patrones que se usen deben ser por lo menos dos clases superiores al instrumento a contrastar. Así los de la clase 2,5 se contrastan con la clase 1, los de la clase 1,5 con la 0,5 y así, sucesivamente. Los de las clases 0,1; 0,2 y 0,5 de laboratorio, no obstante, deben contrastarse por medio de un potenciómetro por el método de oposición, usando como referencia una pila patrón Weston. Hay buenos potenciómetros portátiles para tal efecto.

Modernamente es posible reemplazar las pilas Weston por pequeñas fuentes alimentadas desde la red de 220 V alternos y que gracias a semiconductores Zener proporcionan voltajes de referencia con una precisión del orden de 0,01%. En todo caso el método de oposición de Pogendorf es indispensable.

Algunas ideas acerca de la instalación de pirómetros termoelectricos

Los tableros de control en donde se instalen los instrumentos pirométricos, sean estos indicadores, controladores o inscriptores, deben reunir una serie de requisitos de protección, que analizaremos brevemente:

Protección contra el polvo. Si bien es cierto que las cajas de los galvanómetros son bastante herméticas, no lo son suficientemente como para evitar la entrada y salida de aire por cambios de la presión atmosférica o por la dilatación o contracción del aire interior por cambios de temperatura. Como el aire siempre contiene en suspensión cierta cantidad de polvo magnético, sobre todo en la cercanía de faenas metalúrgicas, el potente imán del galvanómetro las atrae, acumulándose en el entrehierro. Tarde o temprano estas partículas terminan por trabar el libre y delicado movimiento de la bobina y su aguja. La reparación de este desperfecto es delicada y no siempre exitosa. Por estas mismas razones no se abra jamás la

caja de un galvanómetro en el ambiente, siempre impuro, de una fábrica.

Protección contra la humedad. La humedad o los ambientes corrosivos (industrias químicas) producen daños irreparables en contactos, conexiones, etc. y atacan también los mecanismos internos de los galvanómetros. En tales casos los tableros deben estar distantes, en recintos separados del ambiente desfavorable.

Protección contra movimientos mecánicos. Los tableros deben estar en lugares fijos, libres de golpes ocasionales o de vibraciones de máquinas cercanas. Los pivotes de acero de las bobinas que descansan en diminutas cavidades de ágata son muy sensibles a los daños mecánicos.

Protección contra campos magnéticos. Los tableros generalmente de estructura y chapa de hierro, deforman en parte el campo magnético del entrehierro del galvanómetro alterando la calibración. Son muy sensibles a este efecto los instrumentos de bajo precio con cajas plásticas, hoy muy en boga. El efecto puede producirse a la inversa, por canalización de campos magnéticos externos que influyen en el del galvanómetro. Si al medir una magnitud con el instrumento en el rack y fuera de él se produjeran diferencias, es índice inequívoco de efectos de este tipo.

Protección contra el calor. Los tableros deben estar en lugares distante de las zonas de radiación de hornos y otras instalaciones. También no debe darles el sol directo. Si bien es cierto que generalmente tienen corrección automática, como vimos anteriormente, esa corrección funciona en los entornos de la temperatura normal de 20 °C. Si el instrumento tiene circuitos transistorizados esta precaución es doblemente válida, pues los semiconductores son muy sensibles a la temperatura y pueden fallar totalmente a temperaturas internas de ~ 70 °C.

Protección contra campos eléctricos. Siendo los galvanómetros muy sensibles (los de 16 mV suelen tener 50.000 Ω/V) cualquier corriente inducida de campos espúreos externos, puede falsear las lecturas o dañarlos. Se recomienda en tales casos, blindar todo el tablero y el cable de compensación. Los fabricantes producen cables expresamente blindados. Al hacer una lectura no conviene frotar previamente el vidrio del instrumento con fines de limpieza, pues las cargas eléctricas así creadas suelen producir fuertes desviaciones de la aguja que pueden durar muchos minutos.

BIBLIOGRAFIA

1. CULVER. *Electricidad y magnetismo*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1949.
2. TERNY, M. *La mesure des temperatures au laboratoire et dans l'industrie*. Ed. Dunod, Paris, 1962.
3. MOELLER-WERR. *Electrotecnia general y aplicada Tomo IV. Técnica de las medidas eléctricas*. Ed. Labor, Barcelona, 1964.
4. KARCZ, A. *Electrometría Tomo I*. Ed. Eudeba, Buenos Aires, 1968.
5. Wheelco Instruments Div. *Data Book*.
6. BENNETT, H.E. *Noble metal thermo couples*. Ed. Johnson, Matthey & Co. London, 1956.
7. ROMAGNOLI, G.C. *Termometria, pirometría, termoregolazione automática*. Ed. Ulrico Hoepli, Milano 1950.