

INTERCOMPARACION DE PATRONES DE TEMPERATURA (PARTE II) 800 °C HASTA 1500 °C (PIROMETROS DE RADIACION)

M. Jiménez Rebagliati, E. Hildebrand, M. Tischler
INTI, C.C. 157, 1650 San Martín, Buenos Aires

Empleando lámparas pirométricas de filamento de tungsteno calibradas en el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de la República Federal de Alemania, se intercompararon en el Departamento de Física y Metrología del INTI, las respectivas implementaciones de la escala de temperatura (IPTS-68) entre 800 °C y 1500 °C, con el objeto de detectar posibles errores sistemáticos y evaluar una cota de error.

La implementación de la escala de temperatura como referencia nacional, se basa, en ambas instituciones, en termómetros que cuando reciben la radiación térmica de un cuerpo negro cuya temperatura se desea medir, generan una señal eléctrica que se interpreta en términos de la temperatura con la ayuda de información que surge del procedimiento de calibración. Este procedimiento consiste en medir las características espectrales del pirómetro, principalmente la transmitancia espectral del filtro de interferencia y la respuesta espectral relativa de su detector, así como en obtener el valor de la señal que genera cuando recibe radiación de un cuerpo negro a la temperatura del punto de fusión del oro.

El cálculo de las diferencias entre ambas escalas, que requirió conocer las características espectrales de ambos pirómetros, la emisividad del tungsteno y la solución numérica de tres ecuaciones integrales que involucran a todas estas cantidades y a la ley de Planck, condujo al siguiente resultado:

$$T_{ptb} - T_{inti} = a_1 \cdot (T - \text{Tau}) - a_2 \cdot (T - \text{Tau})^2$$

$$\text{con } a_1 = 0,0016 \text{ y } a_2 = -0,32 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}, \quad 800 \text{ } ^\circ\text{C} < T < 1500 \text{ } ^\circ\text{C}$$

COMPARACION DE LOS PIROMETROS PATRONES

Con la idea de evaluar la exactitud de implementación de la porción de alta temperatura ($T > 1064 \text{ } ^\circ\text{C}$) de la IPTS-68, (Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1968), se realizó una comparación entre los termómetros de radiación patrones mantenidos en el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) y en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Se establecieron las diferencias que indicarían ambos termómetros en función de la temperatura de un mismo blanco.

La medición de temperatura con un termómetro de radiación monocromático consiste en determinar las señales $S(T)$ y $S(\text{Tau})$ que este genera cuando apunta a un cuerpo negro que se halla a la temperatura que se desea medir y a un cuerpo negro que se halla a la temperatura de solidificación del oro, la cual se utiliza como referencia para la implementación de la IPTS-68. Matemáticamente, esto puede ser expresado mediante la ecuación integral que relaciona dichas magnitudes¹, es decir:

$$S(T) / S(\text{Tau}) =$$

$$= \int_0^\infty L(\lambda, T) \cdot \phi(\lambda) \cdot d\lambda / \int_0^\infty L(\lambda, \text{Tau}) \cdot \phi(\lambda) \cdot d\lambda$$

donde $\Phi(\lambda)$ se denomina "función espectral" del pirómetro y corresponde al producto entre la respuesta espectral relativa del detector y el producto de las transmisiones espectrales de cada uno de los elementos ópticos que componen el pirómetro, siendo $L(\lambda, T)$ la ley de radiación de Planck.

Una comparación directa entre dos pirómetros de diversas características espectrales consiste en medir con ambos la temperatura de un mismo cuerpo negro. Sin embargo, dado que resulta más práctico y accesible, se utilizaron en la presente comparación lámparas de cinta de tungsteno especialmente diseñadas para trabajos de pirometría óptica, por sus características de reproducibilidad.

Dado que la distribución espectral de la energía emitida por una lámpara no es igual a la de un cuerpo negro, no es posible comparar ambos pirómetros en forma directa mediante una lámpara, pues ella no puede simular, simultáneamente, la misma temperatura de cuerpo negro para ambos pirómetros, a menos que estos sean espectralmente idénticos. Por ello se utilizó el procedimiento que se describe mediante la figura 1 y las fórmulas¹ (1), ..., (5).

$$T_x(I) = \sum c_i (I - I_0)^i, \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (1)$$

$$\int_0^{\infty} L(\lambda, T_x) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda = T_c(\lambda) \cdot \epsilon(\lambda, T_w) \cdot L(\lambda, T_w) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2)$$

$$\int_0^{\infty} L(\lambda, T_y) \cdot \phi_y(\lambda) \cdot d\lambda = \int_0^{\infty} T_c(\lambda) \cdot \epsilon(\lambda, T_w) \cdot L(\lambda, T_w) \cdot \phi_y(\lambda) \cdot d\lambda \quad (3)$$

$$S(T)/S(Tau) = \int_0^{\infty} L(\lambda, T_y) \cdot \phi_y(\lambda) \cdot d\lambda / \int_0^{\infty} L(\lambda, Tau) \cdot \phi_y(\lambda) \cdot d\lambda \quad (4)$$

$$Tau = Ty(Tau) \quad (5)$$

Empleando el pirómetro X y la lámpara pirométrica A se determinó (PTB, 1983) una relación temperatura Tx vs. corriente I, representada por la ecuación (1). Esto significa que la radiación térmica que emite la lámpara cuando por ello circula una corriente I, hace que el pirómetro X genere una señal igual a la que se obtendría si observara un cuerpo negro a la temperatura Tx.

El valor de Tx así obtenido se puede relacionar con la temperatura Tw del filamento de la lámpara, conociendo la transmisión espectral³ Tc(λ) de la carcasa y los valores de la emisividad del Tungsteno en función de la longitud de onda y la temperatura⁴ Tw. Esto se logra a través de la ecuación 2, que determina la equivalencia entre las dos formas de representar la energía sensada por el pirómetro, sea en términos de la temperatura Tx del cuerpo negro a quien la lámpara simula, o en términos de la temperatura Tw del filamento de la lámpara.

Los valores de Tw son luego utilizados, mediante un procedimiento inverso (3), para reinterpretar

la dependencia Tx = Tx(I) en términos de valores de temperatura Ty'. Cada uno de ellos se obtiene de resolver el juego de ecuaciones integrales 2 y 3 sin requerir la realización de una medición con el pirómetro del INTI (figura 1, "pirómetro Y") y puede interpretarse como el valor de temperatura de cuerpo negro, que debería ser medido por el pirómetro Y, si ambos instrumentos estuviesen perfectamente calibrados.

El valor de Ty' resulta entonces comparable con el valor de temperatura Ty, que surge de realizar una medición con el pirómetro Y sobre la lámpara A, cuando por ella circula la misma corriente I. El valor de Ty surge de resolver la ecuación 4, utilizando como señal S(Tau) la provista, por ejemplo, por una segunda lámpara B que simula para el pirómetro Y, un cuerpo negro a la temperatura de solidificación del oro (Figura 1, ref. 5).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se midieron así las diferencias entre Ty' y Ty, cada 100 °C, en el rango comprendido entre 800 °C y 1500 °C. Los resultados correspondientes se encuentran en la figura 2 (ref. "valores originales") y corresponden a la aplicación del procedimiento descrito, usando valores de Φx y de Φy medidos en el PTB en 1983. La primera comparación de este tipo fue realizada en ambas instituciones en 1984-85 y fue repetida en INTI en 1989. Los resultados correspondientes a ambas comparaciones coinciden dentro de un margen de ± 0,1 °C, entre 1200 °C y 1500 °C, lo cual sugiere que en el transcurso de 4 años no se han registrado variaciones importantes en Φy.

Como consecuencia de una redeterminación de la transmisión espectral del filtro de interferencia del pirómetro patrón del INTI, que compone parte de la Φy, se descubrió una diferencia importante con respecto a los valores de Φy utilizados para el cálculo original. Esta diferencia consiste en la presencia de una zona de transmisión no despreciable para longitudes de onda superiores a las de la banda principal de transmisión del filtro. El uso de información actualizada permitió corregir los valores de las diferencias Ty' - Ty (fig. 2, "valores recalibrados"). Esta redefinición de la escala mantenida en INTI, significa que las implementaciones de ambas escalas (PTB e INTI) difieren en un valor menor que 0,2 °C, para valores de temperatura mayores que Tau (1064, 43 °C) y menores que 1500 °C. La comparación se extendió al intervalo comprendido entre 800 °C y Tau, donde la IPTS-68 se establece mediante otro termómetro patrón, resultando valores de Ty' - Ty de hasta 0,6 °C.

Este apartamiento puede tener su explicación

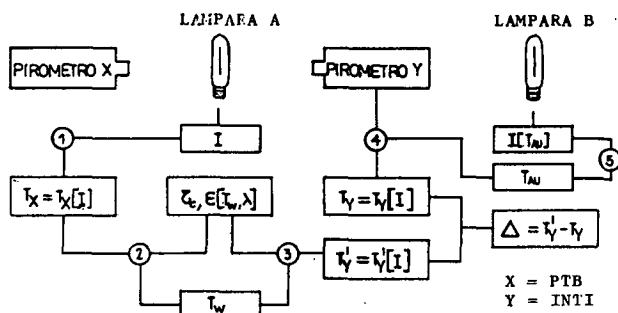


Figura 1: Representación del procedimiento de comparación.

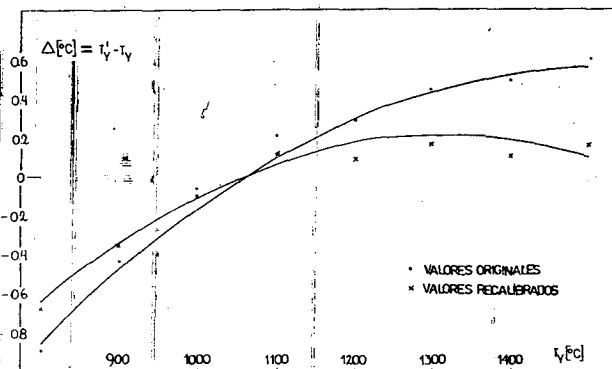


Figura 2: Diferencias entre las escalas "PTB" e "INTP".

en la disminución de la sensibilidad relativa del pirómetro en ese intervalo y en el aumento de los errores relativos de las señales eléctricas involucradas en las mediciones.

Las incertidumbres típicas en la determinación de los valores de Ty no superan los $\pm 0,2$ °C en el intervalo descrito. Los valores de las diferencias Ty' - Ty fueron interpolados mediante la siguiente ecuación cuadrática:

$$T_{ptb} - T_{inti} = a_1 \cdot (T - \text{Tau}) - a_2 \cdot (T - \text{Tau})^2$$

donde se ha reemplazado la notación "Ty', Ty" por la de "T_{ptb}, T_{inti}" y donde:

$a_1 = 0,0016$, $a_2 = -0,32 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, para los datos originales

$a_1 = 0,0025$, $a_2 = -0,28 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, para los datos recalibrados

$\sigma = 0,05$ °C (desviación cuadrática media) para ambos ajustes.

REFERENCIAS

1. Tischler, M., Metrologia, 21, 93-96 (1985).
2. Rufino, G., Critical survey of data treatment in radiation pyrometry, Microtecnica - Torino, Italia.
3. Coates, P. B., Tungsten ribbon lamps en "Theory and Practice of Radiation Thermometry", D. P. DeWitt, G. D. Nutter ed. (John Wiley & Sons Inc., 1988).
4. Latyev, L. N., Chekhovskoi, V. Ya., Shestakov, E. N., High Temperatures, High Pressures, V. 4, P. (679-686), 1972.