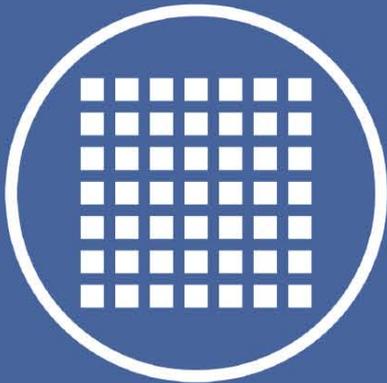


Copia No Controlada

Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación
en Física y Metrología



INTI

Procedimiento específico: PEC04

CALIBRACIÓN DE LÁMPARAS PIROMÉTRICAS

Revisión: Abril 2014

Este documento se ha elaborado con recursos del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

PEC04 Índice: Abril 2014

NOMBRE DEL CAPITULO	REVISIÓN
Página titular	Abril 2014
Lista de enmiendas	Abril 2014
Índice	Abril 2014
Calibración de lámparas pirométricas	Abril 2014
Apéndice 1	Abril 2014
Apéndice 2	Abril 2014
Apéndice 3	Abril 2014
Apéndice 4	Abril 2014
Apéndice 5	Abril 2014
Apéndice 6	Abril 2014

PREPARADO POR

FIRMA Y SELLO


REVISADO POR

FIRMA Y SELLO

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO

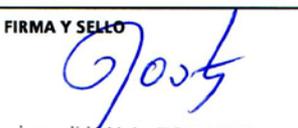

Lic. JAVIER GARCIA SKABAR
 COORD. U.T. CALOR
 FISICA Y METROLOGIA
 INTI

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO


ING. PATRICIA VARELA
 COORD. CALIDAD Y ADMINISTRACION
 FISICA Y METROLOGIA
 INTI

APROBADO POR

FIRMA Y SELLO


ING. JUAN A. FORASTIERI
 DIRECTOR TECNICO
 INTI FISICA Y METROLOGIA

PEC04: Abril 2014

1. Objeto

Establecer el método de calibración de lámparas pirométricas utilizadas como referencia de temperatura de radiancia espectral, por comparación, mediante un termómetro de radiación, con una lámpara pirométrica patrón.

2. Alcance

Corresponde al rango de temperatura de radiancia espectral comprendido entre 800 °C y 2200 °C. Se calibra para una longitud de onda de operación de aproximadamente 657 nm. El filamento debe ser plano y su ancho debe ser igual o mayor que 1,5 mm. Se calibran en un mínimo de 5 valores de temperatura.

3. Definiciones

3.1. Términos metrológicos generales

Su definición de se encuentra en el Manual de la Calidad, capítulo 2, en el Plan de la Calidad y en el texto del presente procedimiento.

3.2. Longitud de onda

Es la distancia entre dos puntos de la fase correspondiente a dos ciclos consecutivos de una onda. Se nota con el símbolo λ cuya unidad es $[\lambda] = \text{m}$.

3.3. Radiancia

Es la cantidad de energía por unidad de tiempo en una dada dirección, por unidad de ángulo sólido, por unidad de área de la fuente, correspondiente a la dirección de observación. Se la denota mediante el símbolo L , $[L] = \text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. La radiancia espectral es la radiancia por unidad de longitud de onda, se la nota como L_λ o $L(\lambda)$, sus unidades son $[L_\lambda] = \text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$.

3.4. Cuerpo negro

Un cuerpo totalmente absorbente que no refleja radiación. En equilibrio térmico un cuerpo negro absorbe e irradia con la misma intensidad. La radiación emitida iguala a la absorbida cuando se mantiene el equilibrio térmico. Un cuerpo negro emite radiación de acuerdo a la ley de radiación de Planck.

3.5. Ley de radiación de Planck

Expresión que describe la distribución espectral de radiancia $L(\lambda, T)$ de un cuerpo negro. Se expresa mediante:

$$L(\lambda, T) = c_1 * \lambda^{-5} * \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]^{-1}$$

$$\text{Donde: } c_1 = 3,742 \cdot 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2, \quad c_2 = 0,014388 \text{ m} \cdot \text{K}$$

3.6. Emisividad

Relación entre la radiancia emitida por la superficie del material y la emitida por un cuerpo negro a igual temperatura. Se utiliza el término emitancia para indicar la emisividad de una muestra o un objeto.

3.7. Termómetro de radiación.

Instrumento que mide la temperatura de un cuerpo mediante la detección de la radiación emitida por aquel y el procesamiento de la señal generada.

3.8. Termómetro de radiación de banda única

Mide la temperatura de un cuerpo mediante la detección, dentro de una banda del espectro de ancho mayor que 10 nm hasta unos pocos micrómetros. Los termómetros de radiación monocromática (banda: ~ 10 nm a 50 nm) y los de filamento evanescente (banda: ~ 100 nm) pueden considerarse de este tipo.

3.9. Termómetro de radiación total

Mide la temperatura de un cuerpo mediante la detección, dentro de un ancho de banda muy amplio del espectro (varios micrómetros), de la energía que este emite.

3.10. Lámpara pirométrica.

Lámpara útil como referencia de temperatura de radiancia espectral y en consecuencia como referencia termométrica.

PEC04: Abril 2014

3.11. Tamaño de blanco de un termómetro de radiación.

Diámetro o longitud característica del círculo o figura virtual sobre el plano del blanco u objeto, del cual emerge la radiación que detecta el termómetro. El tamaño de blanco queda definido por el diseño óptico del termómetro y depende de la distancia entre el blanco y el termómetro.

3.12. Longitud de onda de operación

Se refiere a la longitud de onda característica para la cual un termómetro de radiación monocromática es sensible. Su aplicación se extiende a termómetros de banda.

3.13. Longitud de onda efectiva de un termómetro de radiación.

Valor característico de longitud de onda definido mediante:

$$\lambda_{\text{eff}}(T) = \frac{\int_{\Delta\lambda} \Phi(\lambda) \cdot L(\lambda, T) \cdot d\lambda}{\int_{\Delta\lambda} \Phi(\lambda) \cdot L(\lambda, T) \cdot d\lambda / \lambda}$$

Donde $\Phi(\lambda)$ es la función de onda pirométrica del termómetro de radiación.

3.14. Función de onda pirométrica $\Phi(\lambda)$ de un termómetro de radiación.

Representa a la función espectral correspondiente al producto entre la respuesta espectral relativa del termómetro y la transmitancia espectral de la óptica del termómetro.

3.15. Temperatura de radiancia

Es el valor equivalente de temperatura de un cuerpo negro que provee la misma radiancia, para un intervalo espectral especificado, que el cuerpo bajo consideración.

4. Referencias**4.1. The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)**

H. Preston-Thomas, Metrología, 27, 3-10, 1990, Springer Verlag

4.2. Theory and practice of radiation thermometry

D.P. DeWitt, G.D. Nutter, John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-471-61018-6

4.3. Applications of radiation thermometry

ASTM Special Technical Publication 895, ISBN0-8031-0445-6

4.4. The guide to the expression of uncertainty in measurement

ISO/TAG4/WG3, NIST, 1995.

4.5. A photoelectric direct current spectral pyrometer with linear characteristics

B. Woerner, TEMPERATURE - Its measurement and Control in Science and Industry, 1982, 6, 429-432.

4.6. Radiation thermometry: Uncertainties on measurements on Tungsten strip-lamps

Eric van der Ham, NMI-Van Swinden Laboratorium (Netherlands), Euromet, CCT-WG3 & WG5 Workshop on Uncertainties in Radiation Thermometry, september, 2001. Ref.: <http://pyrometrie.free.fr/>

4.7. Transference of tungsten strip lamps calibrations between INTI and INMETRO

En colaboración con R. Teixeira (INMETRO, Brasil). Congreso "Metrología 97", organizado por el "Mouvement Français pour la Qualité", Besançon - Francia, octubre de 1997.

5. Responsabilidades**5.1. Del Coordinador de la Unidad Técnica Calor**

Supervisa el desarrollo de la calibración, verifica el cumplimiento del procedimiento y revisa los resultados.

5.2. Del personal del laboratorio

Realiza las calibraciones aplicando el presente procedimiento, procesa los datos correspondientes y emite el certificado de calibración.

PEC04: Abril 2014

6. Instrucciones

6.1. Descripción de los instrumentos a calibrar

Las lámparas pirométricas se utilizan como referencia secundaria de temperatura. Se utilizan, esencialmente, para calibrar termómetros de radiación o como referencia para determinar la temperatura de un cuerpo, mediante el uso de un termómetro de radiación, utilizado como comparador.

Las lámparas deberán radiar suficiente energía en un entorno de los 657 nm, como para simular un cuerpo negro de temperatura mayor o igual que 800 °C. Las lámparas pueden ser de ventana plana o cilíndrica. Pueden estar evacuadas o llenas con gas.

6.2. Parámetros o cantidades a determinar

Se trata de determinar valores de temperatura de radiancia espectral provistos por la lámpara y los correspondientes valores de corriente eléctrica continua circulante por el filamento de la misma.

6.3. Instrumentación utilizada

6.3.1. Temperatura y humedad

6.3.1.1. Lámpara evacuada, de alta estabilidad, marca GEC, modelo 10/V, de filamento de tungsteno, rango: 800 °C – 1500 °C, identif.: C668.

6.3.1.2. Lámpara evacuada, de alta estabilidad, marca GEC, modelo 10/V, de filamento de tungsteno, rango: 800 °C – 1500 °C, identif.: C684.

6.3.1.3. Lámpara con gas, de alta estabilidad, marca GEC, modelo 10/G, de filamento de tungsteno, rango: 1500 °C – 2200 °C, identif.: C669.

6.3.1.4. Lámpara con gas, de alta estabilidad, marca GEC, modelo 10/G, de filamento de tungsteno, rango: 1500 °C – 2200 °C, identif.: C670.

6.3.1.5. Termopar tipo K, identificada como TCK – LAMP, sin n/s.

6.3.1.6. Termohigrómetro marca TFA, identificado como “Radiación”.

6.3.2. Resistencias eléctricas

6.3.2.1. Resistor de alta estabilidad de valor nominal igual a 0,01 Ω , marca H&B, n/s 9940.

6.3.2.2. Resistor de alta estabilidad de valor nominal igual a 0,01 Ω , marca H&B, n/s 9941.

6.3.3. Corriente eléctrica

6.3.3.1. Heizinger TNs 30-600, intervalos de funcionamiento: (0-20) A, (0-30) V, n/s 068012606.

6.3.3.2. Heizinger TNs 100-2000, intervalos de funcionamiento: (0-20) A, (0-100) V, n/s 088012750.

6.3.3.3. FUG NTN 2800-65, rango: (0-40) A, (0-65) V, n/s 9306495002.

6.3.4. Baños de fluido

6.3.4.1. Marca Polyscience, modelo Series 9500, n/s 881035.

6.3.4.2. Marca Guildline, modelo 9732VT, n/s 45318.

6.3.5. Otros

6.3.5.1. Termómetro de radiación marca IKE, modelo LP2, s/n 80-04.

6.3.5.2. Voltímetro marca Keithley, modelo 196, s/n 542448.

6.3.5.3. Llave selectora electrónica (scanner) marca Keithley, modelo 705, s/n 464394, con placas 7057A y 7059.

6.3.5.4. Computadora personal.

6.3.6. Programas de computación

6.3.6.1. Table Curve

6.3.6.2. Excel

PEC04: Abril 2014

6.3.6.3. Tvgrfnew

6.4. Condiciones ambientales

La temperatura ambiente se mantiene a (23 ± 5) °C. Humedad relativa ambiente menor que 80 %.

6.5. Intervalos de estabilización

Se indican en 7.

La instrumentación involucrada en la medición de corriente eléctrica y temperatura de radiancia espectral se mantiene encendida durante, al menos, 1 h antes de comenzar con las mediciones. Los valores de corriente por la lámpara se modifican en intervalos superiores a los 30 s.

6.6. Acciones preliminares

Las lámparas son revisadas antes de comenzar de su calibración. Se realizan las siguientes acciones:

- Verificación de la condición de la ampolla

Se observa que la ampolla no se halle deteriorada, que no posea rajaduras y que la ventana anterior no posea rayas y se encuentre limpia. En caso de que la superficie se encuentre sucia, se la limpia con papel absorbente embebido en acetona.

- Verificación de la continuidad

Se comprueba la continuidad eléctrica entre los bornes de la lámpara mediante un ohmetro.

- Determinación de aceptación o rechazo

En caso de ausencia de continuidad, presencia de rayas en la parte frontal de la ampolla que puedan obstruir el campo de observación del termómetro de radiación, o de fisura o rajadura, la lámpara es rechazada para su calibración.

- Limpieza de la ventana frontal de la lámpara

Se limpia la ventana frontal de la lámpara con un papel apropiado para superficies ópticas, embebido en acetona de alta pureza.

7. Calibración

7.1. Fundamentos

La radiancia emitida por una lámpara pirométrica es comparada con la proveniente de otra lámpara utilizada como referencia (patrón) de temperatura de radiancia espectral, mediante el uso de un termómetro de radiación.

Los valores de temperatura de radiancia espectral correspondientes a la radiancia provista por la lámpara de referencia se hallan relacionados con los valores de corriente eléctrica continua circulante por el filamento de la misma.

El objetivo esencial de la calibración de la lámpara es obtener un conjunto de puntos de la forma $\{I, T, U(T)\}$, donde I representa un valor de corriente eléctrica, T la temperatura de radiancia espectral y $U(T)$ su valor asignado de incertidumbre.

Las lámparas utilizadas como patrones disponen de trazabilidad a un instituto de metrología de prestigio reconocido como el PTB (Physikalische-Technische Bundesanstalt), el INRIM (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica), etc. Su calibración es controlada, ya sea, por comparación con calibraciones previas, por comparación con otra lámpara y/o mediante comparación con el punto de solidificación del Au.

7.2. Arreglo de medición

La figura 1 del apéndice 1 muestra el arreglo típico de medición. La lámpara a calibrar y la de referencia (6.3.1.1, ..., 6.3.1.4) se conectan, independientemente, mediante sendos circuitos serie. Ellas son vistas de corriente continua mediante fuentes de corriente de alta estabilidad (6.3.3.1, 6.3.3.3). Resistores patrones (6.3.2) completan dichos circuitos. Las tensiones eléctricas sobre estos resistores son medidas mediante un voltímetro (6.3.5.2), a través de una llave selectora (6.3.5.3). Los resistores se hallan inmersos en un baño de aceite siliconado (6.3.4.2) a temperatura estable de 23 °C. Otro baño con circulación externa de agua (6.3.4.1) permite mantener los zócalos de la lámpara de referencia a la

PEC04: Abril 2014

temperatura de 25 °C a y, en caso de requerirlo, también los de la lámpara a calibrar. Se mide la temperatura de los zócalos de la lámpara de referencia con un termopar (6.3.1.5).

El termómetro de radiación (6.3.5.1) yace horizontal, montado solidario a una base rotatoria, que permite que su eje óptico pueda coincidir con los puntos de enfoque de ambas lámparas. Los filamentos de las mismas se ubican a una distancia de aprox. 62 cm de la lente objetivo del termómetro. La lámpara de referencia se alinea de acuerdo a las condiciones en que fue calibrada.

La lámpara a calibrar se puede alinear de acuerdo a indicaciones del fabricante, o de acuerdo a la forma en que se alineó en una calibración previa. Cuando se carece de información al respecto o a consideración del técnico ejecutor se adoptará un criterio de alineación que incluye las siguientes consideraciones (ref. figura 2 del apéndice 1):

- Rotación alrededor del eje X

Ajuste, por inspección visual en la dirección del eje X, del paralelismo entre el filamento de la lámpara y una plomada.

- Rotación alrededor de los ejes Y y Z

Juxtaposición del eje óptico del termómetro con la línea (dirección de observación) que une las marcas de alineación anterior (muesca en el filamento) y posterior (flecha o mancha) de la lámpara.

Un programa de computación (6.3) es utilizado para registrar las magnitudes de interés.

7.3. Desarrollo de la calibración y adquisición de datos

Para cada valor de temperatura de interés se alimenta inicialmente a la lámpara de referencia con un valor de corriente eléctrica, próximo al valor correspondiente, según lo indica el certificado de su última calibración. Los valores de corriente circulante por las lámparas son obtenidos como los respectivos cocientes entre los valores de tensión eléctrica y los valores de los resistores patrones. Se apunta el termómetro al filamento de esta lámpara respetando las condiciones de alineación indicadas en 7.2 y se mide la señal indicada por el termómetro. Se enciende luego la lámpara a calibrar, se rota el termómetro para que apunte a su filamento y se ajusta la corriente por ella, hasta que dicho termómetro, indique un valor de señal idéntico.

Mediante el programa se registra la señal provista con el termómetro. Cuando se alcanza la estabilidad, se ajusta nuevamente la corriente por alguna de ambas lámparas, hasta que las señales que provee el termómetro para uno y otro caso, se igualen (tip. $\pm 3\%$). Para calibración a temperaturas inferiores (superiores) a 1100 °C, se espera al menos 30 min (15 min) antes comenzar a medir. Una vez alcanzada la estabilidad (tip. $\pm 0,05\text{ °C}$ para lámparas de alta estabilidad) se comienza a medir. Se ajusta el rango de medición del termómetro de modo tal que, de ser factible, este provea valores del orden de 1 V.

Las señales se miden siguiendo la siguiente secuencia: señal (Sx) correspondiente a la lámpara a calibrar, señal (Sr) correspondiente a la lámpara de referencia, señal (Sx) de lámpara a calibrar, eligiendo igual cantidad de puntos (tip. 10) para ambos casos. Al final de estas mediciones se obtura el ingreso de radiación al termómetro y se mide su señal (So) (de fondo).

El programa mide y grafica, en forma cíclica, la tensión eléctrica sobre el resistor conectado a la lámpara de referencia, la tensión eléctrica sobre el resistor conectado a la lámpara a calibrar, la señal provista por el termómetro para cada una de las lámparas, etc. El programa asigna un índice a cada valor de medición. En un protocolo de medición se identifica la señal de medición con el canal del scanner utilizado para tal fin. Se registra, en el mismo los valores extremos de los índices de cada intervalo de puntos correspondientes a la medición de una señal y se registra un valor de temperatura ambiente y humedad relativa ambiente por cada valor de temperatura de calibración. Los resultados de las mediciones realizadas por el programa se guardan en forma digital en archivos nombrados bajo la forma YYMMDDVV.DCX, donde YYMMDD representa la fecha de medición, VV el número de versión grabada y X el número de canal del scanner utilizado para la medición. Se transfieren los datos de interés a archivos de sistema Excel para calcular sus valores medios y dispersiones, los cuales posteriormente se utilizan para el resto de los cálculos.

PEC04: Abril 2014

7.4. Modelo de medición

El modelo utilizado corresponde a:

$$t_x = t_r + \delta t_r + \delta t_{ra} + c_1 \cdot \delta T_d + c_2 \cdot \delta V_r + c_3 \cdot \delta R_r + c_4 \cdot \delta I_r + c_5 \cdot \delta S_r + c_6 \cdot \delta S_{rm} + \delta t_{xa} + c_7 \cdot \delta V_x + c_8 \cdot \delta R_x + c_9 \cdot \delta I_x + c_{10} \cdot \delta S_x + c_{11} \cdot \delta S_{xm} + c_{12} \cdot \delta S_o + \delta t_\lambda + \delta t_{br} - \delta t_{bx} + \delta \tau + \delta dtd\lambda + \delta t_{\Delta\lambda} + \delta t_s + \delta t_{\delta\lambda} + \delta t_s + \delta t_{lur} + \delta t_{lux} + \delta t_{res} + \delta t_{mui} + \delta t_{fil} + \delta t_p$$

Considerando solo las correcciones no nulas, resulta:

$$t_x \approx t_r + \delta t_\lambda + \delta t_{br} - \delta t_{bx} + \delta t_s$$

donde:

- t_x es la temperatura asignada a la lámpara a calibrar.
- t_r es la temperatura indicada por la lámpara de referencia
- δt_r es la corrección debida a la calibración de la lámpara de referencia.
- δt_{ra} es la corrección de los valores temperatura indicados por la lámpara de referencia debida a la aplicación de un modelo de regresión que interpreta la relación, $Tr = Tr(I)$, existente entre dichos valores de temperatura y los de corriente eléctrica circulante por dicha lámpara.
- δT_d es el intervalo temporal de deriva de la lámpara de referencia.
- δV_{rm} es la corrección de la medición de tensión eléctrica sobre el resistor conectado a la lámpara de referencia, debida a la calibración del multímetro.
- δR_r es la corrección del valor de resistencia eléctrica del resistor conectado a la lámpara de referencia, debida a su propia calibración.
- δI_r es la corrección debido a la repetibilidad de las mediciones de corriente eléctrica circulante por la lámpara de referencia.
- δS_r es la corrección debida a la repetibilidad de la señal provista por el termómetro de radiación, correspondiente a la lámpara de referencia.
- δS_{rm} es la corrección a la señal provista por el termómetro de radiación, correspondiente a la lámpara de referencia, debida a la calibración del multímetro.
- δt_{xa} es la corrección de los valores temperatura indicados por la lámpara bajo calibración debida a la aplicación de un modelo de regresión, que interpreta la relación, $Tx = Tx(I)$, existente entre dichos valores de temperatura y los de corriente eléctrica circulante por dicha lámpara.
- δV_{xm} es la corrección de la tensión eléctrica sobre el resistor conectado a la lámpara bajo calibración, debido a la calibración del multímetro.
- δR_x es la corrección del valor de resistencia eléctrica del resistor conectado a la lámpara bajo calibración, debido a su propia calibración.
- δI_x es la corrección debida a la repetibilidad de las mediciones de corriente eléctrica circulante por la lámpara bajo calibración.
- δS_x es la corrección debida a la repetibilidad de la señal provista por el termómetro de radiación, correspondiente a la lámpara bajo calibración.
- δS_{rm} es la corrección a la señal provista por el termómetro de radiación, correspondiente a la lámpara bajo calibración, debida a la calibración del multímetro.
- δS_o es la corrección debida a la repetibilidad de la señal provista por el termómetro de radiación, cuando la radiación que arriba a este proviene de un medio a temperatura ambiente.
- δt_{br} es la corrección debida a la diferencia de temperatura de la base de la lámpara de referencia, con respecto a su valor de calibración.
- δt_{bx} es la corrección debida a la diferencia de temperatura de la base de la lámpara bajo calibración, con respecto al valor referido de calibración.
- $\delta \tau$ es la corrección debida a la diferencia de transmisión espectral de la ventana de la lámpara de referencia para diferentes situaciones de limpieza.
- $\delta dT/d\lambda$ es la corrección debida a la incertidumbre con que se conoce la derivada $dT/d\lambda$.
- $\delta t_{\Delta\lambda}$ es la corrección debida a la diferencia de longitudes de onda a la cual se refieren los

PEC04: Abril 2014

valores de temperatura de referencia y la longitud de onda efectiva del termómetro de radiación utilizado en la calibración. Se calcula mediante: $\delta t_{\lambda} = (\lambda - \lambda_r) \cdot (dT/d\lambda)|_{T_r}$, donde λ representa la longitud de onda efectiva del termómetro de radiación utilizado en la calibración, λ_r la longitud de onda a la cual están referidos los valores de temperatura de referencia (T_r), y $(dT/d\lambda)|_{T_r}$ la variación de la temperatura de radiancia espectral con la longitud de onda, evaluada para T_r .

- $\delta t_{\delta\lambda}$ es la corrección debida a la incertidumbre con que se conocen las longitudes de onda de calibración de la lámpara de referencia y la longitud de onda efectiva del termómetro utilizado para calibrar.
- δt_s es la corrección debida a la diferencia de las señales provistas por el termómetro de radiación. Esta corrección se calcula mediante: $\delta t_s = ((S_x - S_o) / (S_r - S_o) - 1) * \lambda * (T_r)^2 / c_2$ donde S_x y S_r son las señales que genera el termómetro cuando mide respectivamente sobre la lámpara que se calibra y sobre la de referencia. So es la señal provista cuando la radiación que arriba al termómetro proviene de un medio a temperatura ambiente.
- δt_{lur} es la corrección por error en la ubicación del campo de medición del termómetro, debida a gradientes de temperatura presentes en el filamento de la lámpara de referencia.
- δt_{lux} es la corrección por error en la ubicación del campo de medición del termómetro, debida a los gradientes de temperatura presentes en el filamento de la lámpara bajo calibración.
- δt_{res} es la corrección debido a la resolución del termómetro de radiación.
- δt_{nui} es la corrección debido al ruido de la señal del termómetro de radiación.
- δt_{fil} es la corrección debido a variación de temperatura del filtro de interferencia del termómetro de radiación durante la calibración.
- δt_p es la corrección debido a la reflexión en la cara posterior de la ampolla de la lámpara que se calibra.

7.5. Ejemplo del cálculo de incertidumbre

En los apéndices 2, 3, 4 y 5 se muestran ejemplos de cálculo de incertidumbre para 800°C, 1500°C, 1800 °C y 2200 °C.

8. Confección del informe

Además de lo establecido en el capítulo 9 del MC, en el certificado de calibración se indica:

- Las condiciones de medición
- El tratamiento previo de la lámpara.
- La escala de temperatura a la que se refieren los valores indicados en el certificado.

Los resultados se entregan en una tabla con las siguientes características:

Temperatura $T_M(^{\circ}C)$	Corriente eléctrica $I(A)$	Incertidumbre $U(^{\circ}C)$	Longitud de onda $\lambda(nm)$

En el apéndice 6 se da un ejemplo de certificado de calibración.

PEC04: Abril 2014

9. Registro de la calidad

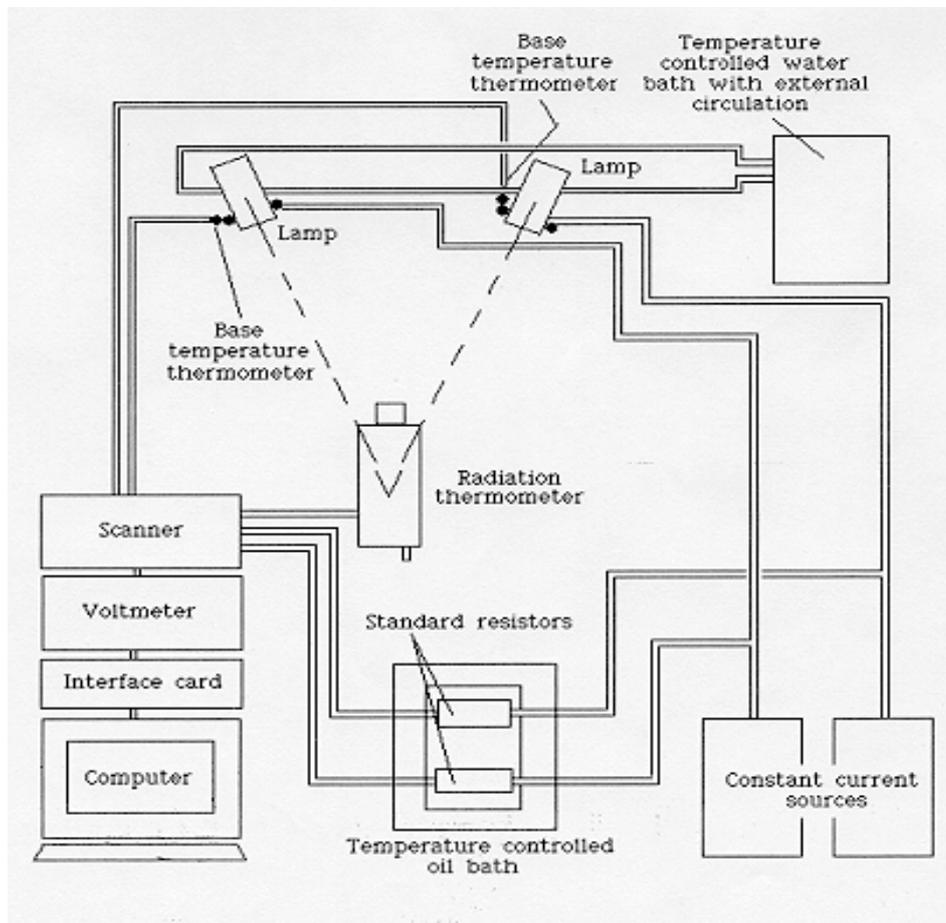
Se conservan registros manuscritos de las observaciones originales, copia de los certificados emitidos, como así también copia de la orden de trabajo, salida de elementos y demás documentación relacionada, de acuerdo con el Manual de la Calidad del INTI - Física y Metrología, Capítulo 11.

10. Apéndice

Nº DE APÉNDICE	TÍTULO
1	Diagramas del arreglo de medición
2	Ejemplo de cálculo de incertidumbre para $t = 800\text{ °C}$
3	Ejemplo de cálculo de incertidumbre para $t = 1500\text{ °C}$
4	Ejemplo de cálculo de incertidumbre para $t = 1800\text{ °C}$
5	Ejemplo de cálculo de incertidumbre para $t = 2200\text{ °C}$
6	Ejemplo de informe de calibración

PEC04 Apéndice 1: Abril 2014

Diagramas del arreglo de medición



PEC04 Apéndice 2: Abril 2014

EJEMPLO DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA $t = 800\text{ °C}$

DATOS DE MEDICIÓN Y CÁLCULO

Datos	Símb	Valor estimado	Unidad
Lámpara de referencia	C668		
Resistor asoc a lámpara referencia	R9941		
Tensión s/resistor asoc. lamp. ref.	Vr	0.04389438	V
Resistencia asoc / lámp. ref.	Rr	9.999267E-03	Ω
Corriente por lámpara referencia	Ir	4.38976	A
Señal LP2 de lámpara de referencia	Sr	-0.29917	V
Longitud de onda (tr) asoc/lamp.ref.	λ_r	6.56E-07	m
Temperatura base lámpara referencia	tbr	25.0	$^{\circ}\text{C}$
Indicación lámpara de referencia	tr	799.92	$^{\circ}\text{C}$
		1073.07	K
Lámpara a calibrar	C684		
Identificación resistor asoc. lamp.cal.	R9940		
Tensión s/resistencia asoc. lamp. cal	Vx	0.04299642	V
Resistencia asoc / lamp. cal.	Rx	9.999470E-03	Ω
Corriente por lámpara de calibración	Ix	4.29987	A
Señal LP2 de lámpara a calibrar	Sx	-0.29898	V
Longitud de onda (tx) asoc/term. interp.	λ_i	6.5405E-07	m
Temperatura base lámpara calibración	tbx	25.0	$^{\circ}\text{C}$
Indicación lámpara a calibrar	tx	800.06	$^{\circ}\text{C}$
		1073.21	K
Datos accesorios			
Señal LP2 de fondo	So	0.00000	V
(dt / d λ) (tr) para $\lambda = 655\text{ nm}$	dt/d λ	-8.79E+07	$^{\circ}\text{C}/\text{m}$
(dt / dTb) (tr) para $\lambda = 655\text{ nm}$	dt/dTb	1.98E-01	$^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$
(dt / dl) (tr) asoc. lámp. ref.	dt/dl	180.61	$^{\circ}\text{C}/\text{A}$
Corrección p/dif. Tbase lamp. ref.	δ_{ibr}	0.000	$^{\circ}\text{C}$
Corrección p/dif. de señales Sr y Sx	δ_{ts}	-0.03	$^{\circ}\text{C}$
Corrección p/dif. Tbase lamp. cal.	δ_{tbx}	0.000	$^{\circ}\text{C}$
Corr. p/dif. λ e/term. ref. e interprete	$\delta_{\Delta\lambda}$	0.171	$^{\circ}\text{C}$
Condiciones ambientales			
Humedad relativa ambiente	HRA	50	%
Temperatura ambiente	Ta	25.0	$^{\circ}\text{C}$

BALANCE DE INCERTIDUMBRES EN CALIBRACION

Procedimiento: PEC04
Calibración de: Lámparas pirométricas ...

Modelo asociado a la medición:

$$t_x = t_r + \delta_{t\lambda} + \delta_{ts} + \delta_{tbr} - \delta_{tbx} \dots$$

Fuente de incertidumbre	Símb	Valor estimado	Tipo	Dis	Intervalo (\pm)	Fac	u_i	v_i	c_i	%			
Calibración lámpara de referencia	δ_{tr}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	A1	N		2.5E-01	$^{\circ}\text{C}$	50	1.00	70.8%		
Modelo de ajuste para Tr	δ_{tra}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	A1	N		4.0E-02	$^{\circ}\text{C}$	2	1.00	1.8%		
Deriva de la temperatura de referencia	δ_{Td}	0.0	h	BR	R	3.0E-03	$^{\circ}\text{C}/\text{h}$	1.7	1.7E-03	$^{\circ}\text{C}/\text{h}$	50	3.0E+01	3.1%
Calibración multimetro (med s/Vr)	δ_{Vrm}	0.0	V	BR	R	5.5E-06	V	1.7	3.2E-06	V	50	1.8E+04	3.7%
Calibración resistor asoc lamp refer	δ_{Rr}	0.0	Ω	BN	N	4.6E-08	Ω	2.0	2.3E-08	Ω	50	7.9E+04	0.0%
Repetibilidad I s/lámpara referencia	δ_{lr}	0.0	A	A1	N		3.0E-05	A	8	1.8E+02	0.0%		
Repetibilidad señal LP2 (lamp refer)	δ_{Sr}	0.0	V	A1	N		1.0E-05	V	8	175	0.0%		
Calibración multimetro (med s/Sr)	δ_{Srm}	0.0	V	BR	R	3.14E-05	V	1.7	1.8E-05	V	50	175	0.0%
Modelo de ajuste para Tx	δ_{txa}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	A1	N		6.0E-02	$^{\circ}\text{C}$	2	1.00	4.1%		
Calibración multimetro (med s/Vx)	δ_{Vxm}	0.0	V	BR	R	5.4E-06	V	1.7	3.1E-06	V	50	1.9E+04	3.9%
Calibración resistor asoc lamp cal	δ_{Rx}	0.0	Ω	BR	R	7.2E-08	V	1.7	4.2E-08	Ω	50	8.0E+04	0.0%
Repetibilidad I s/lámpara calibración	δ_{lx}	0.0	A	A1	N		1.0E-04	A	8	1.9E+02	0.4%		
Repetibilidad señal LP2 (lamp cal)	δ_{Sx}	0.0	V	A1	N		6.0E-05	V	8	175	0.1%		
Calibración multimetro (med s/Sx)	δ_{Sxm}	0.0	V	BR	R	1.83E-04	V	1.7	1.1E-04	V	50	175	0.4%
Repetibilidad señal LP2 de fondo	δ_{So}	0.0	V	A1	N		0.0E+00	V	8	0	0.0%		
Calibración termómetro base lamp ref	δ_{tbr}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	3.0E-01	$^{\circ}\text{C}$	1.7	1.7E-01	$^{\circ}\text{C}$	50	0.20	1.3%
Calibración termómetro base lamp cal	δ_{tbx}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	3.0E-01	$^{\circ}\text{C}$	1.7	1.7E-01	$^{\circ}\text{C}$	50	0.20	1.3%
Atenuación p/ limpieza de la ventana	δ_{τ}	0.0	1	BR	R	1.0E-03	1	1.7	5.8E-04	1	50	52.34	1.0%
Incertidumbre en la derivada dT/d λ	$\delta_{dt/d\lambda}$	0.0	$^{\circ}\text{C}/\text{nm}$	BR	R	1.7E-01	$^{\circ}\text{C}$	1.7	9.9E-02	$^{\circ}\text{C}$	50	1.0E-01	0.1%
Inc. long onda lamp. ref. y termómetro	δ_{λ}	0.0	nm	BR	R	2.0E-10	m	1.7	1.2E-10	m	8	-1.2E-01	0.0%
Error ubicación campo med. lamp ref.	δ_{lugr}	0.0	mm	BR	R	1.0E-01	mm	1.7	5.8E-02	mm	50	1.0E+00	3.8%
Error ubicación campo med. lamp cal.	δ_{lugx}	0.0	mm	BR	R	1.0E-01	mm	1.7	5.8E-02	mm	50	1.0E+00	3.8%
Resolución del termómetro	δ_{trui}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	2.0E-02	$^{\circ}\text{C}$	1.7	1.2E-02	$^{\circ}\text{C}$	50	1.00	0.2%
Ruido del termómetro	δ_{tres}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	1.0E-02	$^{\circ}\text{C}$	1.7	5.8E-03	$^{\circ}\text{C}$	50	1.00	0.0%
Variación temp.filtro term. Interp.	δ_{fil}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	1.0E+00	$^{\circ}\text{C}$	1.7	5.8E-01	$^{\circ}\text{C}$	50	-1.8E-03	0.0%
Reflexión post. ampolla lamp. cal.	δ_p	0.0	1	BR	R	0.0E+00	1	1.7	0.0E+00	1	50	52.36	0.0%
Indicación del instrumento	tx	800.2	$^{\circ}\text{C}$		N	5.9E-01	$^{\circ}\text{C}$	2.0	3.0E-01	$^{\circ}\text{C}$	89		100%

$t_x = 800.2\text{ °C}$	$U = 0.6\text{ °C}$	$I_x = 4.2999$
-------------------------	---------------------	----------------

PEC04 Apéndice 3: Abril 2014

Ejemplo de cálculo de incertidumbre para t = 1500°C

DATOS DE MEDICIÓN Y CÁLCULO

Datos	Símb	Valor estimado	Unidad
Lámpara de referencia	C668		
Resistor asociado a lámpara de referencia	R9941		
Tensión s/resistor asociado a lámpara de referencia	Vr	1.16E-01	V
Resistencia asociada / lámpara de referencia	Rr	9.999267E-03	Ω
Corriente por lámpara de referencia	Ir	11.55759	A
Señal LP2 de lámpara de referencia	Sr	-0.32986	V
Longitud de onda (tr) asociada a lámpara de referencia	λr	6.56E-07	m
Temperatura base lámpara de referencia	tbr	25.2	°C
Indicación lámpara de referencia	tr	1500.02	°C
	tr	1773.17	K
Lámpara a calibrar	C684		
Identificación resistor asociado a lámpara calibrada	R9940		
Tensión s/resistencia asociada a lámpara calibrada	Vx	1.13E-01	V
Resistencia asociada a lámpara calibrada	Rx	9.999470E-03	Ω
Corriente por lámpara de calibración	Ix	11.31406	A
Señal LP2 de lámpara a calibrar	Sx	-0.32975	V
Longitud de onda (tx) asociada a término de interpolación	λi	6.5289E-07	m
Temperatura base lámpara de calibración	tbx	25.2	°C
Indicación lámpara a calibrar	tx	1500.75	°C
	tx	1773.90	K
Datos accesorios			
Señal LP2 de fondo	So	0.00000	V
(dt / dλ) (tr) para λ = 655 nm	dt/dλ	-2.51E+08	°C/m
(dt / dTb) (tr) para λ = 655 nm	dt/dTb	1.43E-03	°C/°C
(dt / dl) (tr) asociado a lámpara de referencia	dt/dl	74.04	°C/A
Corrección p/dif. Tbase lámpara de referencia	δtbr	0.000	°C
Corrección p/dif. de señales Sr y Sx	δts	-0.05	°C
Corrección p/dif. Tbase lámpara calibrada	δtbx	0.000	°C
Corr. p/dif. λ, e/term. ref. e interprete	δiλ	0.782	°C
Condiciones ambientales			
Humedad relativa ambiente	HRA	50	%
Temperatura ambiente	Ta	25.0	°C

BALANCE DE INCERTIDUMBRES EN CALIBRACION

Procedimiento:	PEC04
Calibración de:	Lámparas pirométricas

Modelo asociado a la medición:

$$t_x = t_r + \delta t_\lambda + \delta t_s + \delta t_{br} - \delta t_{bx} \dots$$

Fuente de incertidumbre	Símb	Valor estimado	Tipo	Dis	Intervalo (±)	Fac	u _i	v _i	c _i	%				
Calibración lámpara de referencia	δtr	0.0	°C	A1	N		5.0E-01	°C	50	1.00	1	85.7%		
Modelo de ajuste para Tr = Tr(l)	δtra	0.0	°C	A1	N		4.0E-02	°C	2	1.00	1	0.5%		
Deriva de la temperatura de referencia	δTd	0.0	h	BR	R	3.0E-03	°C/h	1.7	1.7E-03	°C/h	50	3.0E+01	h	0.9%
Calibración multímetro (med s/Vr)	δVrm	0.0	V	BR	R	1.1E-05	V	1.7	6.5E-06	V	50	7.4E+03	°C/V	0.8%
Calibración resistor asociado a lámpara de referencia	δRr	0.0	Ω	BN	N	4.6E-08	Ω	2.0	2.3E-08	Ω	50	8.6E+04	°C/Ω	0.0%
Repetibilidad I s/lámpara de referencia	δIr	0.0	A	A1	N		3.0E-05	A	8	7.4E+01	°C/A	0.0%		
Repetibilidad señal LP2 (lámpara de referencia)	δSr	0.0	V	A1	N		1.0E-05	V	8	4.3E+02	°C/V	0.0%		
Calibración multímetro (med s/Sr)	δSrm	0.0	V	BR	R	3.25E-05	V	1.7	1.9E-05	V	50	433	°C/V	0.0%
Modelo de ajuste para Tx = Tx(l)	δtxa	0.0	°C	A1	N		6.0E-02	°C	2	1.00	1	1.2%		
Calibración multímetro (med s/Vx)	δVxm	0.0	V	BR	R	1.1E-05	V	1.7	6.4E-06	V	50	7.5E+03	°C/V	0.8%
Calibración resistor asociado a lámpara calibrada	δRx	0.0	Ω	BR	R	7.2E-08	Ω	1.7	4.2E-08	Ω	50	8.5E+04	°C/Ω	0.0%
Repetibilidad I s/lámpara de calibración	δIx	0.0	A	A1	N		1.0E-04	A	8	7.5E+01	°C/A	0.0%		
Repetibilidad señal LP2 (lámpara calibrada)	δSx	0.0	V	A1	N		6.0E-05	V	8	433	°C/V	0.2%		
Calibración multímetro (med s/Sx)	δSxm	0.0	V	BR	R	4.50E-04	V	1.7	2.6E-04	V	50	433	°C/V	4.3%
Repetibilidad señal LP2 de fondo	δSo	0.0	V	A1	N		0.0E+00	V	8	0	0	°C/V	0.0%	
Calibración termómetro base lámpara de referencia	δtbr	0.0	°C	BR	R	3.0E-01	°C	1.7	1.7E-01	°C	50	0.00	°C/°C	0.0%
Calibración termómetro base lámpara calibrada	δtbx	0.0	°C	BR	R	3.0E-01	°C	1.7	1.7E-01	°C	50	0.00	°C/°C	0.0%
Atenuación p/ limpieza de la ventana	δτ	0.0	1	BR	R	1.0E-03	1	1.7	5.8E-04	1	50	142.67	°C	2.3%
Incertidumbre en la derivada dT/dλ	δtdλ	0.0	°C/nm	BR	R	7.8E-01	°C	1.7	4.5E-01	°C	50	1.0E-01	1	0.7%
Inc. long onda lámpara de referencia y termómetro	δiλ	0.0	nm	BR	R	2.0E-10	m	1.7	1.2E-10	m	8	-3.5E-01	°C/nm	0.0%
Error ubicación campo med. lámpara de referencia	δlugr	0.0	mm	BR	R	1.0E-01	mm	1.7	5.8E-02	mm	50	1.0E+00	°C/mm	1.1%
Error ubicación campo med. lámpara calibrada	δlugx	0.0	mm	BR	R	1.0E-01	mm	1.7	5.8E-02	mm	50	1.0E+00	°C/mm	1.1%
Resolución del termómetro	δtrui	0.0	°C	BR	R	2.0E-02	°C	1.7	1.2E-02	°C	50	1.00	1	0.0%
Ruido del termómetro	δtres	0.0	°C	BR	R	1.0E-02	°C	1.7	5.8E-03	°C	50	1.00	1	0.0%
Variación temp. filtro term. Interp.	δifil	0.0	°C	BR	R	1.0E+00	°C	1.7	5.8E-01	°C	50	-5.0E-03	°C/°C	0.0%
Reflexión post. ampolla lámpara calibrada	δp	0.0	1	BR	R	0.0E+00	1	1.7	0.0E+00	1	50	142.79	°C	0.0%
Indicación del instrumento	tx	1501.5	°C		N	1.1E+00	°C	2.0	5.4E-01	°C	67			100%

$t_x = 1501.5 \text{ °C} \quad U = 1.1 \text{ °C} \quad I_x = 11.3141 \text{ A}$

PEC04 Apéndice 4: Abril 2014

Ejemplo de cálculo de incertidumbre para t = 1800°C

DATOS DE MEDICIÓN Y CÁLCULO

Datos	Símb	Valor estimado	Unidad
Lámpara de referencia	C670		
Resistor asociado a lámpara de referencia	R9941		
Tensión s/resistor asociado a lámpara de referencia	Vr	1.65505E-01	V
Resistencia asociado a lámpara de referencia	Rr	9.999267E-03	Ω
Corriente por lámpara de referencia	Ir	16.55170	A
Señal LP2 de lámpara de referencia	Sr	-1.00000	V
Longitud de onda (tr) asociado a lámpara de referencia	λr	6.57E-07	m
Temperatura base lámpara de referencia	tbr	25.0	°C
Indicación lámpara de referencia	tr	1799.97	°C
	tr	2073.12	K
Lámpara a calibrar	C669		
Identificación resistor asociado a lámpara calibrada	R9940		
Tensión s/resistencia asociado a lámpara calibrada	Vx	1.66E-01	V
Resistencia asociado a lámpara calibrada	Rx	9.999470E-03	Ω
Corriente por lámpara de calibración	Ix	16.60000	A
Señal LP2 de lámpara a calibrar	Sx	-1.00000	V
Longitud de onda (tx) asociado a término de interpolación	λi	6.5276E-07	m
Temperatura base lámpara de calibración	tbx	25.0	°C
Indicación lámpara a calibrar	tx	1801.32	°C
	tx	2074.47	K
Datos accesorios			
Señal LP2 de fondo	So	0.00000	V
(dt / dλ) (tr) para λ = 655 nm	dt/dλ	-3.52E+08	°C/m
(dt / dTb) (tr) para λ = 655 nm	dt/dTb	1.73E-04	°C/°C
(dt / dl) (tr) asociado a lámpara de referencia	dt/dl	75.65	°C/A
Corrección p/dif. Tbase lámpara de referencia	δtbr	0.000	°C
Corrección p/dif. de señales Sr y Sx	δts	0.00	°C
Corrección p/dif. Tbase lámpara calibrada	δtbx	0.000	°C
Corr. p/dif. λ e/term. ref. e interprete	δλ	1.348	°C
Condiciones ambientales			
Humedad relativa ambiente	HRA	50	%
Temperatura ambiente	Ta	25.0	°C

BALANCE DE INCERTIDUMBRES EN CALIBRACION

Procedimiento: PEC04
Calibración de: Lámparas pirométricas

Modelo asociado a la medición:

$$t_x = t_r + \delta t_\lambda + \delta t_s + \delta t_{br} - \delta t_{bx} \dots$$

Fuente de incertidumbre	Símb	Valor estimado	Tipo	Dis	Intervalo (±)	Fac	u _i	v _i	c _i	%				
Calibración lámpara de referencia	δtr	0.0	°C	A1	N		9.0E-01	°C	50	1.00	1	66.9%		
Modelo de ajuste para Tr = Tr(I)	δtra	0.0	°C	A1	N		6.0E-02	°C	2	1.00	1	0.3%		
Deriva de la temperatura de referencia	δTd	0.0	h	BR	R	2.0E-02	°C/h	1.7	1.2E-02	°C/h	50	3.0E+01	h	9.9%
Calibración multímetro (med s/Vr)	δVrm	0.0	V	BR	R	1.5E-05	V	1.7	8.8E-06	V	50	7.6E+03	°C/V	0.4%
Calibración resistor asociado a lámpara de referencia	δRr	0.0	Ω	BN	N	4.6E-08	Ω	2.0	2.3E-08	Ω	50	1.3E+05	°C/Ω	0.0%
Repetibilidad I s/lámpara de referencia	δIr	0.0	A	A1	N		3.0E-05	A	8	7.6E+01	°C/A	0.0%		
Repetibilidad señal LP2 (lámpara de referencia)	δSr	0.0	V	A1	N		1.0E-05	V	8	1.9E+02	°C/V	0.0%		
Calibración multímetro (med s/Sr)	δSrm	0.0	V	BR	R	5.80E-05	V	1.7	3.3E-05	V	50	195	°C/V	0.0%
Modelo de ajuste para Tx = Tx(I)	δtxa	0.0	°C	A1	N		6.0E-02	°C	2	1.00	1	0.3%		
Calibración multímetro (med s/Vx)	δVxm	0.0	V	BR	R	1.5E-05	V	1.7	8.8E-06	V	50	7.5E+03	°C/V	0.4%
Calibración resistor asociado a lámpara calibrada	δRx	0.0	Ω	BR	R	7.2E-08	Ω	1.7	4.2E-08	Ω	50	1.2E+05	°C/Ω	0.0%
Repetibilidad I s/lámpara de calibración	δIx	0.0	A	A1	N		1.0E-04	A	8	7.5E+01	°C/A	0.0%		
Repetibilidad señal LP2 (lámpara calibrada)	δSx	0.0	V	A1	N		6.0E-05	V	8	195	°C/V	0.0%		
Calibración multímetro (med s/Sx)	δSxm	0.0	V	BR	R	6.51E-04	V	1.7	3.8E-04	V	50	195	°C/V	0.4%
Repetibilidad señal LP2 de fondo	δSo	0.0	V	A1	N		0.0E+00	V	8	0	°C/V	0.0%		
Calibración termómetro base lámpara de referencia	δtbr	0.0	°C	BR	R	3.0E-01	°C	1.7	1.7E-01	°C	50	0.00	°C/°C	0.0%
Calibración termómetro base lámpara calibrada	δtbx	0.0	°C	BR	R	3.0E-01	°C	1.7	1.7E-01	°C	50	0.00	°C/°C	0.0%
Atenuación p/limpieza de la ventana	δτ	0.0	1	BR	R	1.0E-03	1	1.7	5.8E-04	1	50	194.99	°C	1.0%
Incertidumbre en la derivada dT/dλ	δdT/dλ	0.0	°C/nm	BR	R	1.3E+00	°C	1.7	7.8E-01	°C	50	1.0E-01	1	0.5%
Inc. long onda lámpara de referencia y termómetro	δλ	0.0	nm	BR	R	2.0E-10	m	1.7	1.2E-10	m	8	-5.0E-01	°C/nm	0.0%
Error ubicación campo med. lámpara de referencia	δlugr	0.0	mm	BR	R	1.0E-01	mm	1.7	5.8E-02	mm	50	6.0E+00	°C/mm	9.9%
Error ubicación campo med. lámpara calibrada	δlugx	0.0	mm	BR	R	1.0E-01	mm	1.7	5.8E-02	mm	50	6.0E+00	°C/mm	9.9%
Resolución del termómetro	δtrui	0.0	°C	BR	R	2.0E-02	°C	1.7	1.2E-02	°C	50	1.00	1	0.0%
Ruido del termómetro	δtres	0.0	°C	BR	R	1.0E-02	°C	1.7	5.8E-03	°C	50	1.00	1	0.0%
Variación temp. filtro term. Interp.	δfil	0.0	°C	BR	R	1.0E+00	°C	1.7	5.8E-01	°C	50	-7.0E-03	°C/°C	0.0%
Reflexión post. ampolla lámpara calibrada	δp	0.0	1	BR	R	0.0E+00	1	1.7	0.0E+00	1	50	195.24	°C	0.0%
Indicación del instrumento	tx	1802.7	°C		N	2.2E+00	°C	2.0	1.1E+00	°C	105			100%

$t_x = 1802.7$	°C	$U = 2.2$	°C	$I_x = 16.6000$	A
----------------	----	-----------	----	-----------------	---

PEC04 Apéndice 5: Abril 2014

Ejemplo de cálculo de incertidumbre para $t = 2200^{\circ}\text{C}$

DATOS DE MEDICIÓN Y CÁLCULO

Datos	Símb	Valor estimado	Unidad
Lámpara de referencia	C670		
Resistor asociado a lámpara de referencia	R9941		
Tensión s/resistor asociado a lámpara de referencia	Vr	2.23194E-01	V
Resistencia asociado a lámpara de referencia	Rr	9.999267E-03	Ω
Corriente por lámpara de referencia	Ir	22.32100	A
Señal LP2 de lámpara de referencia	Sr	-1.00000	V
Longitud de onda (tr) asociado a lámpara de referencia	λ_r	6.57E-07	m
Temperatura base lámpara de referencia	tbr	25.0	$^{\circ}\text{C}$
Indicación lámpara de referencia	tr	2200.00	$^{\circ}\text{C}$
	tr	2473.15	K
Lámpara a calibrar	C669		
Identificación resistor asociado a lámpara calibrada	R9940		
Tensión s/resistencia asociado a lámpara calibrada	Vx	2.24E-01	V
Resistencia asociado a lámpara calibrada	Rx	9.999470E-03	Ω
Corriente por lámpara de calibración	Ix	22.43119	A
Señal LP2 de lámpara a calibrar	Sx	-1.00000	V
Longitud de onda (tx) asociado a término de interpolación	λ_i	6.5268E-07	m
Temperatura base lámpara de calibración	tbx	25.0	$^{\circ}\text{C}$
Indicación lámpara a calibrar	tx	2202.01	$^{\circ}\text{C}$
	tx	2475.16	K
Datos accesorios			
Señal LP2 de fondo	So	0.00000	V
(dt / d λ) (tr) para $\lambda = 655 \text{ nm}$	dt/d λ	-5.14E+08	$^{\circ}\text{C}/\text{m}$
(dt / dTb) (tr) para $\lambda = 655 \text{ nm}$	dt/dTb	1.03E-05	$^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$
(dt / dl) (tr) asociado a lámpara de referencia	dt/dl	63.83	$^{\circ}\text{C}/\text{A}$
Corrección p/dif. Tbase lámpara de referencia	δt_{br}	0.000	$^{\circ}\text{C}$
Corrección p/dif. de señales Sr y Sx	δt_s	0.00	$^{\circ}\text{C}$
Corrección p/dif. Tbase lámpara calibrada	δt_{bx}	0.000	$^{\circ}\text{C}$
Corr. p/dif. λ e/term. ref. e interprete	$\delta \lambda$	2.016	$^{\circ}\text{C}$
Condiciones ambientales			
Humedad relativa ambiente	HRA	50	%
Temperatura ambiente	Ta	25.0	$^{\circ}\text{C}$

BALANCE DE INCERTIDUMBRES EN CALIBRACION

Procedimiento:	PEC04
Calibración de:	Lámparas pirométricas

Modelo asociado a la medición:

$$t_x = t_r + \delta t_{\lambda} + \delta t_s + \delta t_{br} - \delta t_{bx} \dots$$

Fuente de incertidumbre	Símb	Valor estimado	Tipo	Dis	Intervalo (\pm)	Fac	u_i	v_i	C_i	%				
Calibración lámpara de referencia	δt_r	0.0	$^{\circ}\text{C}$	A1	N		1.4E+00	$^{\circ}\text{C}$	50	1.00	1	81.8%		
Modelo de ajuste para $T_r = T_r(I)$	δt_{ra}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	A1	N		6.0E-02	$^{\circ}\text{C}$	2	1.00	1	0.2%		
Deriva de la temperatura de referencia	δT_d	0.0	h	BR	R	2.0E-02	$^{\circ}\text{C}/\text{h}$	1.7	1.2E-02	$^{\circ}\text{C}/\text{h}$	50	3.0E+01	h	5.0%
Calibración multímetro (med s/Vr)	δV_{rm}	0.0	V	BR	R	2.0E-05	V	1.7	1.1E-05	V	50	6.4E+03	$^{\circ}\text{C}/\text{V}$	0.2%
Calibración resistor asociado a lámpara de referencia	δR_r	0.0	Ω	BN	N	4.6E-08	Ω	2.0	2.3E-08	Ω	50	1.4E+05	$^{\circ}\text{C}/\Omega$	0.0%
Repetibilidad I s/lámpara de referencia	δI_r	0.0	A	A1	N		3.0E-05	A	8	6.4E+01	$^{\circ}\text{C}/\text{A}$	0.0%		
Repetibilidad señal LP2 (lámpara de referencia)	δS_r	0.0	V	A1	N		1.0E-05	V	8	2.8E+02	$^{\circ}\text{C}/\text{V}$	0.0%		
Calibración multímetro (med s/Sr)	δS_{rm}	0.0	V	BR	R	5.8E-05	V	1.7	3.3E-05	V	50	277	$^{\circ}\text{C}/\text{V}$	0.0%
Modelo de ajuste para $T_x = T_x(I)$	δt_{xa}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	A1	N		6.0E-02	$^{\circ}\text{C}$	2	1.00	1	0.2%		
Calibración multímetro (med s/Vx)	δV_{xm}	0.0	V	BR	R	2.0E-05	V	1.7	1.2E-05	V	50	6.3E+03	$^{\circ}\text{C}/\text{V}$	0.2%
Calibración resistor asociado a lámpara calibrada	δR_x	0.0	Ω	BR	R	7.2E-08	Ω	1.7	4.2E-08	Ω	50	1.4E+05	$^{\circ}\text{C}/\Omega$	0.0%
Repetibilidad I s/lámpara calibrada	δI_x	0.0	A	A1	N		1.0E-04	A	8	6.3E+01	$^{\circ}\text{C}/\text{A}$	0.0%		
Repetibilidad señal LP2 (lámpara calibrada)	δS_x	0.0	V	A1	N		6.0E-05	V	8	277	$^{\circ}\text{C}/\text{V}$	0.0%		
Calibración multímetro (med s/Sx)	δS_{xm}	0.0	V	BR	R	8.7E-04	V	1.7	5.0E-04	V	50	277	$^{\circ}\text{C}/\text{V}$	0.8%
Repetibilidad señal LP2 de fondo	δS_o	0.0	V	A1	N		0.0E+00	V	8	0	$^{\circ}\text{C}/\text{V}$	0.0%		
Calibración termómetro base lámpara de referencia	δt_{br}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	3.0E-01	$^{\circ}\text{C}$	1.7	1.7E-01	$^{\circ}\text{C}$	50	0.00	$^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$	0.0%
Calibración termómetro base lámpara calibrada	δt_{bx}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	3.0E-01	$^{\circ}\text{C}$	1.7	1.7E-01	$^{\circ}\text{C}$	50	0.00	$^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$	0.0%
Atenuación p/ limpieza de la ventana	$\delta \tau$	0.0	1	BR	R	1.0E-03	1	1.7	5.8E-04	1	50	277.46	$^{\circ}\text{C}$	1.1%
Incertidumbre en la derivada dt/d λ	$\delta dt/d\lambda$	0.0	$^{\circ}\text{C}/\text{nm}$	BR	R	2.0E+00	$^{\circ}\text{C}$	1.7	1.2E+00	$^{\circ}\text{C}$	50	1.0E-01	1	0.6%
Inc. long onda lámpara de referencia y termómetro	$\delta \lambda$	0.0	nm	BR	R	2.0E-10	m	1.7	1.2E-10	m	8	-7.2E-01	$^{\circ}\text{C}/\text{nm}$	0.0%
Error ubicación campo med. lámpara de referencia	δl_{ugr}	0.0	mm	BR	R	1.0E-01	mm	1.7	5.8E-02	mm	50	6.0E+00	$^{\circ}\text{C}/\text{mm}$	5.0%
Error ubicación campo med. lámpara calibrada	δl_{ugx}	0.0	mm	BR	R	1.0E-01	mm	1.7	5.8E-02	mm	50	6.0E+00	$^{\circ}\text{C}/\text{mm}$	5.0%
Resolución del termómetro	δt_{rui}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	2.0E-02	$^{\circ}\text{C}$	1.7	1.2E-02	$^{\circ}\text{C}$	50	1.00	1	0.0%
Ruido del termómetro	δt_{res}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	1.0E-02	$^{\circ}\text{C}$	1.7	5.8E-03	$^{\circ}\text{C}$	50	1.00	1	0.0%
Variación temp. filtro term. Interp.	δt_{fil}	0.0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	1.0E+00	$^{\circ}\text{C}$	1.7	5.8E-01	$^{\circ}\text{C}$	50	-1.0E-02	$^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$	0.0%
Reflexión post. ampolla lámpara calibrada	δp	0.0	1	BR	R	0.0E+00	1	1.7	0.0E+00	1	50	277.91	$^{\circ}\text{C}$	0.0%
Indicación del instrumento	tx	2204.0	$^{\circ}\text{C}$		N	3.1E+00	$^{\circ}\text{C}$	2.0	1.5E+00	$^{\circ}\text{C}$	74			100%

$t_x =$	2204.0	$^{\circ}\text{C}$	$U =$	3.1	$^{\circ}\text{C}$	$I_x =$	22.4312	A
---------	--------	--------------------	-------	-----	--------------------	---------	---------	---

PEC04 Apéndice 6: Abril 2014

Ejemplo de informe de calibración



Certificado de calibración / medición

PCC N° 049 Único
N° de páginas del certificado: 4

Objeto	Un lámpara pirométrica de alta estabilidad
Marca	GEC (General Electric Company)
Modelo	10/G
Número de serie	C669
Determinaciones requeridas	Calibración entre 1500 °C y 2200 °C, cada 100 °C.
Fecha de calibración	Octubre de 2010.
Solicitante	Unidad Técnica Calor – Física y Metrología - INTI B1650KNA - Av. Gral. Paz 5445 San Martín - Prov. Buenos Aires Provincia de Buenos Aires República Argentina

Buenos Aires, 13 de octubre de 2010.


Lic. MARCELO JIMÉNEZ R.
U. T. CALOR
FÍSICA Y METROLOGÍA
INTI


Lic. JAVIER GARCIA SKABAR
COORD. U.T. CALOR
FÍSICA Y METROLOGÍA
INTI

Este certificado documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, los cuales representan a las unidades de medida en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del INTI. Los resultados se refieren exclusivamente a los elementos recibidos, el INTI declina toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciere de este certificado.

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren a las condiciones en que se realizaron las mediciones.

El usuario es responsable de la calibración a intervalos apropiados.



Metodología empleada

Según el procedimiento PEC04, ref: http://www.inti.gov.ar/fisicaymetrologia/sis_pcc.htm.

Condiciones de referencia/calibración

- Orientación de la lámpara.
 - Vertical, con los zócalos hacia abajo.
 - Con el borde del filamento paralelo a la vertical, según vista anterior.
 - Con el soporte de la parte superior del filamento en posición vertical, según vista lateral.
 - Con la imagen del campo de medición del termómetro ubicado a la altura de la muesca del filamento, centrado respecto del ancho del mismo.
 - Con la mancha adherida sobre la parte posterior de la lámpara y la muesca del filamento coincidentes con el eje óptico del termómetro.
- Polaridad y temperatura de los zócalos de la lámpara.
 - Con el zócalo correspondiente al soporte superior del filamento conectado al polo positivo de tensión eléctrica.
 - Temperatura de los zócalos de la lámpara = 25°C
- Tratamiento previo de la lámpara.
 - Se limpió la ventana anterior, previo al inicio de la calibración.
 - No se realizó proceso de envejecimiento alguno.
- Intervalos de encendido y apagado ≥ 1 min.
- Intervalo de espera previo a cada medición: ≈ 30 min.
- Iluminación ambiental: se evitó la incidencia de luz sobre la superficie del filamento mediante el oscurecimiento del ambiente.
- Campo de medición
 - Diámetro de la imagen del campo de medición ≈ 1 mm.
 - Ángulo sólido de medición del termómetro $\approx 0,004$ sr
 - Distancia entre la lente objetivo del termómetro y el filamento de la lámpara ≈ 62 cm.

Condiciones ambientales

- Temperatura = (24 ± 2) °C.
- Humedad relativa < 50 %

Observaciones

- Los valores de temperatura indicados, corresponden a la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (Ref.: "Metrología" 27, 3-10, 1990).
- La incertidumbre de medición expandida informada, fue calculada multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de cubrimiento $k \approx 2$, que corresponde a un nivel de confianza del 95%, bajo distribución normal.





Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

INTI

PCC N° 049 Único
Página 3

Resultados

Temperatura t_s / (° C)	Corriente eléctrica I / (A)	Longitud de onda λ / (nm)	Incertidumbre U / (° C)
1500	12,8702	657,09	1,2
1600	14,0081	657,07	1,3
1700	15,2250	657,06	1,4
1800	16,5156	657,05	1,4
1900	17,8713	657,04	1,5
2000	19,2855	657,03	1,6
2100	20,7582	657,03	1,7
2200	22,3001	657,02	1,7



Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

INTI

PCC N° 049 Único
Página 4

El INTI es el máximo órgano técnico de la República Argentina en el campo de la Metrología. Es función legal del INTI la realización y mantenimiento de los patrones de las unidades de medida, conforme al Sistema Internacional de Unidades (SI), así como su disseminación en los ámbitos de la metrología científica, industrial y legal, constituyendo la cúspide de la pirámide de trazabilidad metrológica en la República Argentina. Los Certificados de Calibración/Medición emitidos por el INTI y por los Institutos Designados por el INTI en las magnitudes no cubiertas por éste, garantizan que el elemento calibrado posee trazabilidad a los patrones nacionales realizados y mantenidos por el propio INTI y los Institutos Designados por el INTI.

Con el fin de asegurar la validez, coherencia y equivalencia internacional de sus mediciones, el INTI, como miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM), participa junto con otros Institutos Nacionales de Metrología en comparaciones interlaboratorios organizadas por las diferentes Organizaciones Metrológicas Regionales (OMR) o por el propio Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), a través de sus Comités Consultivos.

El INTI es asimismo firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de Patrones Nacionales de Medida y Certificados de Calibración y de Medición emitidos por los Institutos Nacionales de Metrología (CIPM-MRA), redactado por el Comité Internacional de Pesas y Medidas, por el que todos los Institutos participantes reconocen entre sí la validez de sus Certificados de Calibración y de Medición para las magnitudes, campos e incertidumbres especificados en el Apéndice C del Acuerdo, el cual refleja las Capacidades de Medición y Calibración (CMC) aceptadas a nivel internacional, soportadas por comparaciones internacionales y realizadas bajo un sistema de gestión de la calidad basado en la norma ISO/IEC 17025. Este Acuerdo constituye la respuesta a la creciente necesidad de un esquema abierto, amplio y transparente para brindar a los usuarios información cuantitativa confiable sobre la comparabilidad de los servicios nacionales de metrología, proporcionando la base técnica para acuerdos más amplios en el comercio internacional y en los ámbitos reglamentados.

Las CMCs declaradas por cada participante del CIPM-MRA son aceptadas por los demás mediante un complejo procedimiento de evaluaciones, que en cada caso puede demandar varios años de actividad, hasta llegar a ser incorporadas en el Apéndice C de la base de datos que mantiene la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (Bureau International des Poids et Mesures - BIPM) en el sitio web <http://www.bipm.org>. Desde la firma del Acuerdo en 1999 hasta la fecha, el INTI ya ha presentado sus CMCs más relevantes en todas las magnitudes y continúa ampliando sus declaraciones.

Fin del Certificado

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

- ▶ En Buenos Aires
físicaymetrologia@inti.gov.ar · electronicaeinformatica@inti.gov.ar · mecanica@inti.gov.ar
Colectora de Av. Gral. Paz 5445, e/ Albarellos y Av. de los Constituyentes - CC 157 (B1650WAB) - San Martín, Prov. de Buenos Aires, Argentina.
Tel. 54 011 4724-6200 / 6300 / 6400.
- ▶ En Córdoba
cba@inti.gov.ar
Av. Vélez Sársfield 1561 - CC 884 (X5000JKC) Córdoba, Prov. de Córdoba, Argentina. Tel.: 54 0351 469-8304 / 684835 Fax: 54 0351 4699459.
- ▶ En Rafaela
raf@inti.gov.ar
Ruta Nacional 34 km 227,6 · (S2300WAC) Rafaela, Prov. de Santa Fe, Argentina. Telefax: 54 03492 440471.
- ▶ En Rosario
ros@inti.gov.ar
Edificio INTI Esmeralda y Ocampo (S2000FHQ) Rosario - Prov. de Santa Fe, Argentina. Telefax: 54 0341 481-5976 / 482-3283 / 482-1030.
- ▶ En cualquier otro lugar del país: consultar sin cargo al 0800-444-4004, a consultas@inti.gov.ar o en www.inti.gov.ar.

