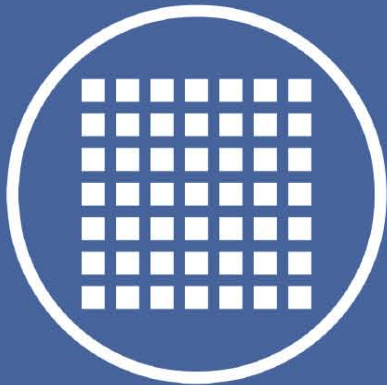


Copia No Controlada

Instituto Nacional  
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación  
en Física y Metrología



INTI

Procedimiento específico: PEC06

## **CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE RADIACIÓN QUE POSEEN DETECTOR PROPIO.**

Revisión: Diciembre 2017

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.

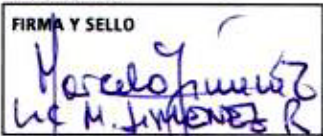
## PEC06 Lista de enmiendas: Diciembre 2017

[illegible]

PEC06 Índice: Diciembre 2017

| NOMBRE DEL CAPÍTULO  | REVISIÓN       |
|--|----------------|
| Índice   | Diciembre 2017 |
| Lista de enmiendas   | Diciembre 2017 |
| CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE RADIACIÓN QUE POSEEN DETECTOR PROPIO | Diciembre 2017 |
| Apéndice 1   | Diciembre 2017 |
| Apéndice 2   | Diciembre 2017 |
| Apéndice 3   | Diciembre 2017 |
| Apéndice 4   | Diciembre 2017 |
| Apéndice 5   | Diciembre 2017 |
| Apéndice 6   | Diciembre 2017 |
| Apéndice 7   | Diciembre 2017 |
| Apéndice 8   | Diciembre 2017 |
| Apéndice 9   | Diciembre 2017 |
| Apéndice 10  | Diciembre 2017 |

REALIZADO POR

FIRMA Y SELLO  
  
Lic. M. JIMENEZ R.

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  
INTI - FISICA Y METROLOGIA

APROBADO POR

FIRMA Y SELLO  
  
Ing. JUAN A. FORASTIERI  
DIRECTOR TECNICO  
INTI - FISICA Y METROLOGIA

PEC06: Diciembre 2017

**1. Objeto**

Establecimiento de los métodos para la calibración de termómetros de radiación y sensores de temperatura por radiación que poseen detector propio. La calibración se realiza, por comparación, mediante el uso de cavidades radiantes, con un termómetro patrón de radiación, o de contacto, o con una lámpara pirométrica.

**2. Alcance**

**2.1.** Este procedimiento se aplica a termómetros de radiación, que poseen detector propio, del tipo de radiación monocromática, de banda y de radiación total. También se aplica a sensores de temperatura por radiación que brindan una señal de salida eléctrica.

**2.2.** La calibración se realiza por comparación directa de las indicaciones provistas por el termómetro en cuestión y por un termómetro utilizado como patrón secundario. Este último puede ser un termómetro de radiación, solo o en conjunto con una lámpara pirométrica, o un termómetro de contacto.

**2.3.** El intervalo de calibración está comprendido corresponde a  $[-20^{\circ}\text{C}, 140^{\circ}\text{C}]$  U  $[800^{\circ}\text{C}, 1500^{\circ}\text{C}]$ .

**2.4.** Existen limitaciones en cuanto al tamaño de blanco de los termómetros (ver 11.). Este procedimiento no se aplica a termómetros que posean una relación entre la distancia fuente-termómetro y el diámetro del campo de su campo de medición (relación D:S) menor que 30:1.

**2.5.** La calibración mediante el uso de lámparas pirométricas, utilizadas como patrones de temperatura, solo se aplica a los termómetros de radiación utilizados como patrones secundarios (de trabajo) del INTI.

**3. Definiciones y abreviaturas**

**3.1.** La definición de términos generales metroológicos 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  $\lambda$ , su 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  $L(\lambda)$ , 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 la radiancia  $L(\lambda, T)$  de un cuerpo negro. Se expresa mediante:

$$L(\lambda, T) = c_{\text{IL}} \cdot \lambda^{-5} \cdot [\exp(c_2 / \lambda T) - 1]^{-1}$$

Donde:  $c_{\text{IL}} = 1,1911 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ,  $c_2 = 0,014388 \text{ m} \cdot \text{K}$

**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 emisividad para indicar la emisividad de una muestra o un objeto.

**3.7. Emisividad instrumental**

Valor elegible de emisividad que puede introducirse en forma analógica o digital al mecanismo de medición de un termómetro de radiación. De esta forma se tiene en cuenta que la emisividad del cuerpo cuya temperatura se mide, coincide con dicho valor.

**3.8. Sensor de temperatura por radiación**

## PEC06: Diciembre 2017

Instrumento que detecta parte de la radiación emitida por un cuerpo y genera una señal de salida eléctrica que depende de la temperatura de dicho cuerpo.

**3.9. 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.

**3.10. Termómetro de radiación de banda**

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

**3.11. Termómetro de radiación total**

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

**3.12. Lámpara pirométrica**

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

**3.13. 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.

**3.14. Longitud de onda de operación**

Se refiere a la longitud de onda característica para la cual un termómetro de radiación monocromática es sensible.

**3.15. 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.

**3.16. Temperatura termodinámica**

Es la temperatura que aparece en las ecuaciones de estado de la física. Se la define a partir de conceptos termodinámicos. Se la identifica con el símbolo **T** y a su respectiva unidad con el símbolo **K**, denominado kelvin.

**3.17. Temperatura Celsius**

Se la define a partir de la ecuación:  $t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$ . Se la identifica con el símbolo **t** y a su respectiva unidad con el símbolo  $^{\circ}\text{C}$ , denominado grado Celsius.

**3.18. Temperatura Kelvin Internacional**

Es definida por la ITS-90 (Ref.: 4.1). Se la identifica con el símbolo  $T_{90}$  y a su respectiva unidad con el símbolo **K**, denominado kelvin. La Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90) ha sido construida en tal forma que, en todo su rango y para cualquier temperatura, el valor numérico de  $T_{90}$  es una aproximación cercana al valor numérico de **T**, de acuerdo con las mejores estimaciones disponibles, al momento en que la ITS-90 fue adoptada.

**3.19. Temperatura Celcius Internacional**

Es definida por la ITS-90 (Ref.: 4.1). Se la identifica con el símbolo  $t_{90}$  y a su respectiva unidad con el símbolo  $^{\circ}\text{C}$ , denominado grado Celsius. Los valores de temperatura de  $t_{90}$  y  $T_{90}$  satisfacen En:  $t_{90}/^{\circ}\text{C} = T_{90}/\text{K} - 273,15$ . En el texto que figura a continuación nos referiremos siempre a  $t_{90}$  o bien a  $T_{90}$  y por comodidad prescindiremos del subíndice <sub>90</sub>.

**3.20. 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.

**3.21. Campo de medición (tamaño de blanco)**

Es el área virtual de donde proviene la radiación que sensa el termómetro. Generalmente se trata de un círculo. Esta área queda definida por las características constructivas del termómetro.

**3.22. Angulo de medición**

Es el doble del ángulo, de un triángulo rectángulo, cuyo cateto opuesto tiene como longitud al radio del campo de medición y como cateto adyacente a la distancia entre el termómetro y la fuente.

PEC06: Diciembre 2017

#### 4. Referencias

**4.1. H. Preston-Thomas**

The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)

Metrología, 27, 3-10, 1990, Springer Verlag

**4.2. D.P. DeWitt, G.D. Nutter**

Theory and practice of radiation thermometry

John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-471-61018-6

**4.3. J.C. Richmond, D.P. DeWitt**

Applications of radiation thermometry

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

**4.4. JCGM 100:2008, GUM 1995 with minor corrections**

The guide to the expression of uncertainty in measurement

**4.5. OIML International Recommendation N° 18**

Visual disappearing-filament pyrometer

**4.6. ASTM E1256**

Standard Test Methods for Radiation Thermometers (Single Waveband Type)

**4.7. Ivarsson J., Falk R.**

Simple ice reference point for IR-radiation thermometers

Proc. TEMPMEKO '96 6th Int Symp. on Temperature and Thermal Measurements in Science and Industry

**4.8. Peter Saunders**

Reflection errors for low-temperature radiation thermometers, Tempmeko 2001, 8th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science; Ed. B Fellmuth, J Seidel, G Scholz, pp 149-154.

**4.9. Mark Ballico, CSIRO-National Measurement Laboratory (Australia),**

Calibration uncertainties in Infra-Red Radiation Thermometry

Euromet, CCT-WG3 & WG5 Workshop on Uncertainties in Radiation Thermometry, september, 2001. Ref.: <http://pyrometrie.free.fr/>

**4.10. Mauro Batuello, Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Italy)**

The size of source effect (SSE) and its influence on the uncertainties in radiation thermometry

Euromet, CCT-WG3 & WG5 Workshop on Uncertainties in Radiation Thermometry, september, 2001. Ref.: <http://pyrometrie.free.fr/>

#### 5. Responsabilidades

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

Supervisar la realización de las calibraciones. Verificar que se cumplan los procedimientos y revisar los resultados.

**5.2. Del personal del laboratorio**

Realizar las calibraciones aplicando el presente procedimiento. Procesar los datos correspondientes y emitir el certificado.

PEC06: Diciembre 2017

## 6. Instrumentación utilizada

### 6.1. Temperatura y humedad

- 6.1.1. Termómetro de radiación marca IKE, modelo LP2, n/s 80-04.
- 6.1.2. Lámpara evacuada, de alta estabilidad, marca GEC, modelo 10/V, de filamento de tungsteno, identificada como C668.
- 6.1.3. Lámpara evacuada de alta estabilidad, marca GEC, modelo 10/V, de filamento de tungsteno, identificada como C684.
- 6.1.4. Termómetro de radiación, marca Minolta, modelo IR630, n/s 97111001.
- 6.1.5. Termopar tipo K, identificada como TCK – LAMP, sin n/s.
- 6.1.6. Indicador digital de temperatura, marca Testo, modelo 845, n/s 0560 8450 01331363/1003, utilizado con:
  - 6.1.6.1. Termopar tipo K, sin marca, sin n/s, identificada como TCK1-Voe.
  - 6.1.6.2. Termopar tipo K, sin marca, sin n/s, identificada como TCK2-Voe.
- 6.1.7. Termo-higrómetro marca TFA, identificado como “Radiación”.

### 6.2. Corriente eléctrica

- 6.2.1. Heizinger TNs 30-600, rango: 0-20 A, 0-30 V, n/s 068012606.
- 6.2.2. Heizinger TNs 100-2000, rango: 0-20 A, 0-100 V, n/s 088012750.
- 6.2.3. FUG NTN 2800-65, rango: 0-40 A, 0-65 V, n/s 9306495002.

### 6.3. Instrumentación de medición

- 6.3.4. Voltímetro marca Keithley, modelo 196, n/s 542448.
- 6.3.4.2.1. Llave selectora electrónica (scanner) marca Keithley, modelo 705, n/s 464394, con placas 7057A y 7059.
- 6.3.5. Computadora personal IBM compatible.

### 6.4. Baños de fluido / Hornos / Cámaras climáticas

- 6.4.1. Marca Polyscience, modelo Series 9500, n/s 881035.
- 6.4.2. Horno resistivo, marca PTB, modelo S40/4, n/s 33395.
- 6.4.3. Horno resistivo, marca Heraeus, modelo RCR 2,5/30, n/s 7950400.
- 6.4.4. Cámara climática, marca VÖTSCH, modelo VMT 08/64, n/s 12122.

### 6.5. Cavidades

- 6.5.1. Cavidad asociada a la cámara climática VÖTSCH, identificada como CAV1- VÖTSCH, sin n/s.
- 6.5.2. Cavidades descartables de grafito, sin identificación.
- 6.5.3. Cavidades descartables realizadas con escamas de hielo, sin identificación.

### 6.6. Programas de computación

- 6.6.1. Emiscalc: calculador del valor de emisividad de una cavidad.
- 6.6.2. Table Curve: ajuste de curvas a datos de medición con información estadística.
- 6.6.3. ITS90: calcula temperatura a partir de mediciones realizadas con sensores resistivos.
- 6.6.4. Mathcad: para cálculos auxiliares
- 6.6.5. Excel: se utiliza una plantilla para el almacenamiento de los “DATOS DE MEDICION Y CALCULO” y para el “BALANCE DE INCERTIDUMBRE EN MEDICION”

PEC06: Diciembre 2017

## 7. Descripción de los instrumentos a calibrar

Se trata de instrumentos del tipo de los indicados en 2.1. El diagrama simplificado del Apéndice 1 representa un termómetro de radiación sencillo. La lente produce una imagen del objeto cuya temperatura se desea medir. El diafragma de apertura define el ángulo  $\varphi$  y este a su vez limita la energía que llega al detector. El diafragma de campo determina el tamaño del campo de medición del instrumento. El detector genera una señal eléctrica que depende de la temperatura del objeto. En el termómetro de radiación, la señal eléctrica es internamente procesada y convertida a un valor de temperatura.

## 8. Principios de la calibración

El termómetro es calibrado mediante la exposición del mismo a la radiancia proveniente de una cavidad cuya emisividad (tip.  $\varepsilon > 0,99$ ) se aproxima a la de un cuerpo negro. A su vez la temperatura de la cavidad se determina mediante un termómetro patrón. El Apéndice 10 muestra el diagrama de trazabilidad para la calibración de termómetros de radiación.

El propósito de la calibración, para un termómetro con indicación de temperatura, es determinar un conjunto de datos de la forma  $\{t_x, \Delta(t_x), U(t_x)\}$ , donde  $\Delta(t_x) = t_r - t_x$ , representa a la diferencia existente entre el valor de temperatura de referencia  $t_r$  que debería indicar el termómetro bajo calibración y el valor  $t_x$  realmente indicado. El valor de  $t_r$  es obtenido a partir de la indicación,  $t_p$ , del termómetro patrón. Debido a que el valor de emisividad de la cavidad puede diferir de 1, entonces el valor de  $t_r$  puede diferir de la temperatura  $t_c$  de la cavidad.  $U(t_x)$  representa a los valores de incertidumbre correspondientes.

Si el instrumento bajo calibración no proporciona una indicación de temperatura ( $t_x$ ) sino una señal eléctrica  $S$ , entonces la calibración consiste en determinar un conjunto de datos de la forma  $\{t_r, S, U(S)\}$  o bien de la forma  $\{t_r, S(t_r), U(t_r)\}$ .

Para obtener  $t_p$ , se consideran, de acuerdo con el tipo de termómetro de patrón utilizado, las posibilidades que se mencionan a continuación.

### 8.1. Caso en que el termómetro patrón es de contacto

El termómetro patrón mide un valor de temperatura,  $t_p$ , que se asume igual al de la base de la cavidad,  $t_c$ . Los valores de  $t_p$  y de  $t_r$  se hallan relacionados a través de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_x \cdot \int_{\lambda_x - \Delta\lambda_x/2}^{\lambda_x + \Delta\lambda_x/2} L(\lambda, t_p \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda + (1 - \varepsilon_x) \cdot \int_{\lambda_x - \Delta\lambda_x/2}^{\lambda_x + \Delta\lambda_x/2} L(\lambda, t_{amb} \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$=$$

$$\varepsilon_{ix} \cdot \int_{\lambda_x - \Delta\lambda_x/2}^{\lambda_x + \Delta\lambda_x/2} L(\lambda, t_r \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda + (1 - \varepsilon_{ix}) \cdot \int_{\lambda_x - \Delta\lambda_x/2}^{\lambda_x + \Delta\lambda_x/2} L(\lambda, t_{det,x} \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda$$

[1]

En la ecuación [1],  $\lambda_x$  y  $\Delta\lambda_x$  representan respectivamente a la longitud de onda de operación y ancho de banda del termómetro bajo calibración.  $\varepsilon_x$  representa el valor de emisividad efectiva de la base de la cavidad para dicho rango espectral.  $\varepsilon_{ix}$  representa al valor de emisividad instrumental del termómetro a calibrar.  $\phi_x(\lambda)$  representa la función de onda pirométrica del termómetro a calibrar.  $t_{amb}$  y  $t_{det,x}$  son respectivamente los valores de temperatura ambiente y del detector del termómetro a calibrar, durante la calibración.

El término superior de dicha ecuación es proporcional a la radiancia que recibe el instrumento, mientras que el inferior representa como el instrumento interpreta dicho valor de radiancia. El término superior está compuesto por dos sumandos. El de la izquierda representa al aporte a la señal que genera el instrumento, debido a la radiancia emitida por la cavidad. El otro corresponde al aporte a di-



## PEC06: Diciembre 2017

cha señal, debido a la reflexión de la radiancia ambiental sobre la cavidad. El término inferior, corresponde a la interpretación, que realiza el instrumento, de la señal que este genera.

### 8.2. Caso en que el termómetro patrón es de radiación

El termómetro de radiación patrón, que normalmente es utilizado con un valor de emisividad instrumental igual a 1, mide un valor de temperatura  $t_p$ , cuando es apuntado a la cavidad. El valor de temperatura,  $t_c$ , de la cavidad está relacionado con  $t_p$  mediante la ecuación:

$$\begin{aligned} \varepsilon_p \cdot \int_{\lambda_p - \Delta\lambda_p/2}^{\lambda_p + \Delta\lambda_p/2} L(\lambda, t_c \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_p(\lambda) \cdot d\lambda + (1 - \varepsilon_p) \cdot \int_{\lambda_p - \Delta\lambda_p/2}^{\lambda_p + \Delta\lambda_p/2} L(\lambda, t_{amb} \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_p(\lambda) \cdot d\lambda \\ = \\ \varepsilon_{ip} \cdot \int_{\lambda_p - \Delta\lambda_p/2}^{\lambda_p + \Delta\lambda_p/2} L(\lambda, t_p \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_p(\lambda) \cdot d\lambda + (1 - \varepsilon_{ip}) \cdot \int_{\lambda_p - \Delta\lambda_p/2}^{\lambda_p + \Delta\lambda_p/2} L(\lambda, t_{det p} \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_p(\lambda) \cdot d\lambda \end{aligned} \quad [2]$$

En la ecuación precedente,  $\lambda_p$  y  $\Delta\lambda_p$  representan respectivamente a la longitud de onda de operación y ancho de banda del termómetro patrón.  $\varepsilon_p$  representa el valor de emisividad efectiva de la base de la cavidad para dicha longitud de onda.  $\varepsilon_{ip}$  representa al valor de emisividad instrumental del termómetro patrón.  $\phi_p(\lambda)$  representa la función de onda pirométrica del termómetro patrón.  $t_{amb}$  y  $t_{det p}$  son respectivamente los valores de temperatura ambiente y del detector del termómetro patrón, durante la calibración.

El valor de temperatura de referencia  $t_r$ , se obtiene análogamente de resolver la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x \cdot \int_{\lambda_x - \Delta\lambda_x/2}^{\lambda_x + \Delta\lambda_x/2} L(\lambda, t_c \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda + (1 - \varepsilon_x) \cdot \int_{\lambda_x - \Delta\lambda_x/2}^{\lambda_x + \Delta\lambda_x/2} L(\lambda, t_{amb} \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda \\ = \\ \varepsilon_{ix} \cdot \int_{\lambda_x - \Delta\lambda_x/2}^{\lambda_x + \Delta\lambda_x/2} L(\lambda, t_r \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda + (1 - \varepsilon_{ix}) \cdot \int_{\lambda_x - \Delta\lambda_x/2}^{\lambda_x + \Delta\lambda_x/2} L(\lambda, t_{det x} \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda \end{aligned} \quad [3]$$

El proceso consta de dos pasos; en el primer paso, usando la ecuación [2], se calcula  $t_c$  a partir del valor de  $t_p$ . En el segundo paso, usando la ecuación [3] se utiliza el valor obtenido de  $t_c$  para calcular  $t_r$ .

Los valores de temperatura, sea  $t_c$  de [2] o  $t_r$  de [3], se obtienen como resultado de aplicar el método iterativo de Newton-Raphson, resolviendo las ecuaciones integrales mediante integración numérica. Esta idea se aplica tanto en este punto como en los siguientes.

La resolución de estas ecuaciones se halla programada (en la rutina Tcc) dentro de la plantilla que contiene los "DATOS DE MEDICION Y CALCULO" y el "BALANCE DE INCERTIDUMBRE EN CALIBRACION"

### 8.3. Caso en que el termómetro patrón es un conjunto compuesto por un termómetro de radiación y una lámpara pirométrica

Este caso se aplicará para la calibración de los termómetros de radiación que se utilizan como patrones secundarios para 8.2. En este caso se mide la temperatura  $t_c$  de una cavidad de emisividad próxima a 1, mediante el termómetro de radiación 6.1.1, el cual a su vez utiliza como referencia la radiancia espectral de una lámpara pirométrica 6.1.2 o 6.1.3. Las características del proceso de medición con la lámpara se indican en el procedimiento PEC04. Esta medición provee como resultado un valor Q, que es el cociente entre las señales que genera el termómetro de radiación cuando detecta la radiancia generada por la cavidad y aquella generada por la lámpara. A partir del valor de corriente eléctrica

## PEC06: Diciembre 2017

I, circulante por la lámpara, se obtiene un valor de temperatura  $t_p$  ( $t_x$  en el modelo de medición del PEC04). La temperatura de la cavidad está relacionada con  $t_p$  mediante:

$$\varepsilon_p \cdot \int_{\lambda_p - \Delta\lambda_p/2}^{\lambda_p + \Delta\lambda_p/2} L(\lambda, t_c \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_p(\lambda) \cdot d\lambda = \int_{\lambda_p - \Delta\lambda_p/2}^{\lambda_p + \Delta\lambda_p/2} L(\lambda, t_p \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_p(\lambda) \cdot d\lambda \quad [4]$$

A su vez, la temperatura de referencia  $t_r$ , que debería indicar el termómetro a calibrar, se relaciona con  $t_c$  mediante:

$$\varepsilon_x \cdot \int_{\lambda_x - \Delta\lambda_x/2}^{\lambda_x + \Delta\lambda_x/2} L(\lambda, t_c \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda = \int_{\lambda_x - \Delta\lambda_x/2}^{\lambda_x + \Delta\lambda_x/2} L(\lambda, t_r \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15 K) \cdot \phi_x(\lambda) \cdot d\lambda \quad [5]$$

Dado que normalmente no se dispone de información sobre  $\phi_x(\lambda)$  y de  $\phi_p(\lambda)$ , se asume en el proceso de integración numérica que estas magnitudes son constantes (excepto  $\phi_p(\lambda)$  del termómetro 6.1.1, que se conoce) dentro de los respectivos intervalos de integración.

## 9. Condiciones ambientales e intervalos de estabilización

La temperatura ambiente es mantenida dentro del intervalo  $(23 \pm 5) ^\circ C$ . No se realiza control de humedad durante la calibración pero no se calibra si la humedad relativa ambiente supera el 80 %. Dichas magnitudes se miden con un termo-higrómetro (6.1.7). Los intervalos de estabilización se indican en 10 y 11.

## 10. Acciones preliminares

Los termómetros de radiación son revisados antes de su calibración. Se realizan las siguientes acciones:

- Se registra la instrumentación involucrada en la medición.
- Aquellos termómetros que midan temperaturas menores que  $600 ^\circ C$ , se dejan reposar sin cobertura, al menos 1 h, en la sala de calibración. Esta precaución se cumple para asegurar la condición de que la temperatura del detector sea igual a la del ambiente.
- Se enciende la instrumentación de medición y se aguarda al menos 1 h. Esto no se aplicará a termómetros portátiles.
- Se comprueba, por inspección visual, luego de habilitar su alimentación que el instrumento funcione.
- Se observa el estado de limpieza de la óptica. En caso de considerarse adecuado se la limpia con papel tissue y alcohol isopropílico.
- En caso de suciedad de difícil limpieza, malfuncionamiento, o algún otro motivo que pueda tornar inútil la calibración, se rechaza el instrumento para tal propósito. Se podrá considerar causa de tal acción, por ejemplo, que el termómetro sea sensible en una zona espectral donde la absorción de gases presentes en el camino óptico, dificulten la medición, que el termómetro posea un tamaño de blanco mayor que el indicado en su manual, que la lente objetivo o la óptica de enfoque se halle deteriorada, que el termómetro brinde una indicación errática, etc.
- Se ubica a los termómetros de radiación a la distancia correspondiente al tamaño mínimo de blanco. De no resultar esto posible, se los ubicará a la mínima distancia posible compatible con la condición de que el tamaño de blanco de dichos instrumentos sea menor que el blanco que presenta la cavidad.
- Se enfoca con el termómetro la boca o agujero de la cavidad.

PEC06: Diciembre 2017

## 11. Calibración

El apéndice 2 muestra los diferentes tipos de arreglos de medición que pueden utilizarse para este fin. La figura 1 del Apéndice 2 muestra el arreglo para la calibración por comparación con termómetro de contacto. El termómetro de referencia se halla en contacto térmico íntimo con el fondo de la cavidad. La figura 2 del mismo apéndice muestra el arreglo utilizado para calibrar por comparación con otro termómetro de radiación. Este procedimiento es usualmente preferido por el alto grado de compensación de efectos sistemáticos presentes en la medición. La figura 3 muestra el arreglo utilizado para calibrar, por ejemplo termómetros de radiación, que luego se utilizarán como termómetros de referencia secundarios. Para ello, la temperatura de la cavidad se determina utilizando como referencia termométrica a una lámpara pirométrica de alta estabilidad y como comparador de radiancia espectral a un termómetro de radiación de laboratorio. La temperatura de referencia se obtiene entonces, a partir del valor indicado por: 1) un termómetro de contacto, 2) un termómetro de radiación calibrado o bien 3) un termómetro de radiación que utiliza a una lámpara pirométrica como referencia de temperatura.

El termómetro es calibrado en un mínimo de cinco puntos. Para cada punto de calibración, se realizan las siguientes operaciones:

- Se ajusta el control de temperatura para el valor de calibración requerido.
- Se aguarda a la estabilización del baño, horno o cámara.
- Se realiza una medición consistente en al menos 6 (seis) lecturas registrándose, en la planilla de protocolo y en forma alternada, las indicaciones del termómetro bajo calibración y la del termómetro de referencia.
- Se registra un valor de temperatura ambiente y de humedad relativa ambiente.

### 11.1. Calibración entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $150\text{ }^{\circ}\text{C}$

Este arreglo admite la calibración de termómetros de tamaño de blanco menor o igual que 50 mm. En este caso se trata de una cavidad (6.5.1) inmersa en un baño, de aire de temperatura estable y homogénea, provisto por una cámara climática (6.4.4). Como termómetro patrón se utiliza uno de contacto (6.1.6 con 6.1.6.1) situado dentro del fondo de la cavidad. Otro termómetro de contacto (6.1.6 con 6.1.6.2) se halla ubicado sobre su lateral para estimar la diferencia de temperatura longitudinal de la cavidad. La emisividad efectiva de la base de la cavidad se calculó (mediante 6.6.1) superior a 0,99 ( $\lambda = 11\text{ }\mu\text{m}$ ). La figura del Apéndice 3, muestra el diagrama del arreglo que se utiliza para calibrar termómetros en este rango de temperaturas. Para contrastar la calibración para  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  puede utilizarse una cavidad cilíndrica realizada con escamas de hielo (6.5.3). En tal caso se la construye para que la emisividad de su base sea mayor que 0,99 de acuerdo con (6.6.1).

### 11.2. Calibración entre $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$

#### 11.2.1. Por comparación con un termómetro de radiación

Se utiliza el tipo de arreglo de la figura del Apéndice 4. Este arreglo admite la calibración de termómetros de tamaño de blanco menor o igual que 40 mm. La temperatura de referencia se obtiene a partir de medir con un termómetro de radiación (6.1.6) utilizado como patrón. Se utiliza una cavidad (6.6.1) compuesta por un tubo de CSI y un fondo de grafito. La cavidad se ubica dentro de un horno resistivo (6.5.2). Se calculó (6.7.1) que la emisividad de la base de la cavidad es mayor que 0,99.

#### 11.2.2. Por comparación con una lámpara pirométrica

Se utiliza el tipo de arreglo indicado en el apéndice 5. Este arreglo admite la calibración de termómetros de tamaño de blanco menor o igual que 5 mm. La temperatura  $t_p$  se obtiene como resultado de medir con un sistema compuesto por un termómetro de radiación (6.1.1), utilizado como comparador de radiancia espectral, y una lámpara pirométrica (6.1.4 o 6.1.5) que provee la referencia de temperatura, mediante un procedimiento idéntico al PEC04. Se utiliza una cavidad descartable de grafito (6.6.8) que se ubica dentro de un horno resistivo (6.5.3). La emisividad de la base de la cavidad se calcula con el programa Emiscalc (6.7.1) y se la diseña de modo que sea mayor que 0,99.

PEC06: Diciembre 2017

**12. Modelo de medición**

El modelo a aplicar depende del tipo de indicación o señal de salida del termómetro a calibrar, de acuerdo a la siguiente tabla:

| INDICACIÓN DEL TERMÓMETRO | MODELO DE MEDICIÓN  |
|---------------------------|---|
| Temperatura               | $\delta(t) = t_p - t_x + \delta t_p + \sum (\delta t_i)$ $\delta t_p = t_r - t_p$ |
| Señal eléctrica (S)       | $t_r + \sum (\delta_i) S$   |

Donde:

- $t_p$  es el valor de temperatura indicado por el termómetro de patrón.
- $t_x$  es el valor de temperatura indicado por el termómetro bajo calibración.
- $t_r$  es el valor de temperatura de referencia.
- $\delta t_{tp}$  es el valor de la corrección de temperatura debido a la diferencia entre la temperatura (de referencia) que debería indicar el termómetro bajo calibración y la indicada por el termómetro patrón.
- $\delta t_1$  es el valor de la corrección de temperatura debido a la resolución del termómetro de patrón.
- $\delta t_2$  es el valor de la corrección de temperatura debido a la calibración del termómetro de patrón.
- $\delta t_3$  es el valor de la corrección de temperatura debido a la repetibilidad de la indicación provista por el termómetro de patrón.
- $\delta t_4$  resolución del indicador con el que se mide la indicación provista por el termómetro bajo calibración
- $\delta t_5$  es el valor de la corrección de temperatura debido a la repetibilidad de la indicación provista por el termómetro bajo calibración.
- $\delta t_6$  es el valor de la corrección de temperatura debido a la estabilidad de la temperatura de la cavidad.
- $\delta t_7$  es el valor de la corrección de temperatura debido a la homogeneidad de la temperatura de la cavidad. La incertidumbre asociada a esta corrección podrá ser evaluada en base a mediciones de caracterización del medio de transferencia realizadas en forma previa al proceso de calibración o durante este.
- $\delta t_8$  es el valor de la corrección de temperatura debido al efecto tamaño de blanco del termómetro bajo calibración.
- $\delta t_9$  es el valor de la corrección de temperatura debido a la incertidumbre de la emisividad de la cavidad.
- $\delta t_{10}$  es el valor de la corrección de temperatura debido a la influencia de la temperatura ambiente.

**13. Ejemplos de cálculo de incertidumbre**

Se presentan respectivamente en los apéndices 6, 7, 8 y 9, cuatro ejemplos de cálculo de incertidumbre. El primero corresponde al caso 8.1 (termómetro patrón de contacto con indicación digital), los dos restantes corresponden al caso 8.2, uno para un termómetro a calibrar digital y el otro para un termómetro analógico. El último corresponde al caso 8.3.

La planilla denominada "BALANCE DE INCERTIDUMBRE EN CALIBRACIÓN" consta de tres entradas principales: 1) el "Valor estimado" que corresponde a la corrección que hay que aplicar para corregir el error que da origen a la fuente de incertidumbre, 2) el "Intervalo" que corresponde a la incertidumbre ( $k=2$ ) asociada al error mencionado o bien " $u_i$ " donde se ingresan directamente las incertidumbre tipo A ( $k=1$ ) y 3) " $v_i$ " que corresponde al número de grados de libertad asociado a la medición de la variable sobre la que aplica el error. El tratamiento se hace bajo la suposición de que las variables de medición no se hallan correlacionadas.

## PEC06: Diciembre 2017

La planilla contiene programados todos los cálculos necesarios para determinar la incertidumbre combinada expandida de acuerdo con 4.4.

A continuación se indica el cálculo de componentes de incertidumbre (referidas a la entrada “ $u_i$ ”, para el caso en que el termómetro de radiación se calibra con un termómetro de contacto.

$u(\delta t_1)$  = (resolución del termómetro patrón/2)/ $\sqrt{3}$ , tipo BR,

$u(\delta t_2)$  = (incertidumbre de calibración del termómetro patrón,  $k=2$ )/2, tipo BN,

$u(\delta t_3)$  = (desviación estándar de la indicación del termómetro patrón), tipo A.

$u(\delta t_4)$  = (resolución del termómetro a calibrar/2)/ $\sqrt{3}$ , tipo BR,

$u(\delta t_5)$  = (desviación estándar de la indicación del termómetro a calibrar), tipo BR. Se estima por bibliografía, o bien por ensayo de estabilidad o bien se acota por la desviación estándar del termómetro patrón.

$u(\delta t_6)$  = (estabilidad de la cavidad,  $k=2$ )/2/ $\sqrt{3}$ , tipo BR.

$u(\delta t_7)$  = (homogeneidad de la cavidad,  $k=2$ )/2/ $\sqrt{3}$ , tipo BR.

La homogeneidad de la cavidad se determina por bibliografía, o bien por ensayo de estabilidad o bien con dos termómetros de contacto ubicados a lo largo de la cavidad, como ocurre en el caso 11.1

$u(\delta t_8)$  = (variación de temperatura por diferencia de tamaño de fuente,  $k=2$ )/2/ $\sqrt{3}$ , tipo BR.

Para termómetros que miden  $t > 800$  °C, el efecto de tamaño de blanco se estima bibliográficamente según 4.10 (1% de la radiancia para termómetros portátiles, 3% para termómetros de línea). Para termómetros que miden entre -20 °C y 150 °C el efecto de tamaño de blanco se mide una vez para cada tipo de termómetro y se aplica teniendo en cuenta los diferentes tamaños de fuente que pueden ser utilizados por el usuario. Dichos tamaños de fuente incluyen el utilizado para la calibración.

$u(\delta t_9)$  = (variación de la emisividad de la cavidad ( $k=2$ )/2)/ $\sqrt{3}$ , tipo BR.

La emisividad de la superficie se calcula de acuerdo con el programa “Emiscalc” indicado en 6.6.1. Para calcular la variación de emisividad de la cavidad se corre este programa, propagando en su incertidumbre el valor de emisividad de la película que reviste la cavidad. La variación de la emisividad debido a las incertidumbres de las dimensiones de la cavidad se considera despreciable.

$u(\delta t_{10})$  = Se calcula mediante la propagación de la temperatura de referencia debido a la incertidumbre de la temperatura ambiente. El resultado se divide por  $2\sqrt{3}$ , tipo BR.

#### 14. Confección del informe

Además de lo establecido en el PG05, en el certificado de calibración se indican:

- Las características de las condiciones de medición.
- La escala de temperatura a la que se refieren los valores indicados en el certificado.
- Los valores indicados por el termómetro y las correspondientes correcciones o valores indicados por el termómetro de referencia.
- Los valores de incertidumbre correspondientes.

Los resultados se entregan en una de las siguientes dos tablas, según si la indicación que provee el instrumento corresponda a valores de temperatura o de alguna señal eléctrica:

| Indicación<br>(°C) | Corrección<br>(°C) | Incertidumbre<br>(°C) |
|--------------------|--------------------|-----------------------|
|                    |                    |                       |

| Indicación<br>(mV, mA, etc.) | Temperatura<br>(°C) | Incertidumbre<br>(°C) |
|------------------------------|---------------------|-----------------------|
|                              |                     |                       |

PEC06: Diciembre 2017

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|--|--|--|

calidad

**15. Registro de la**

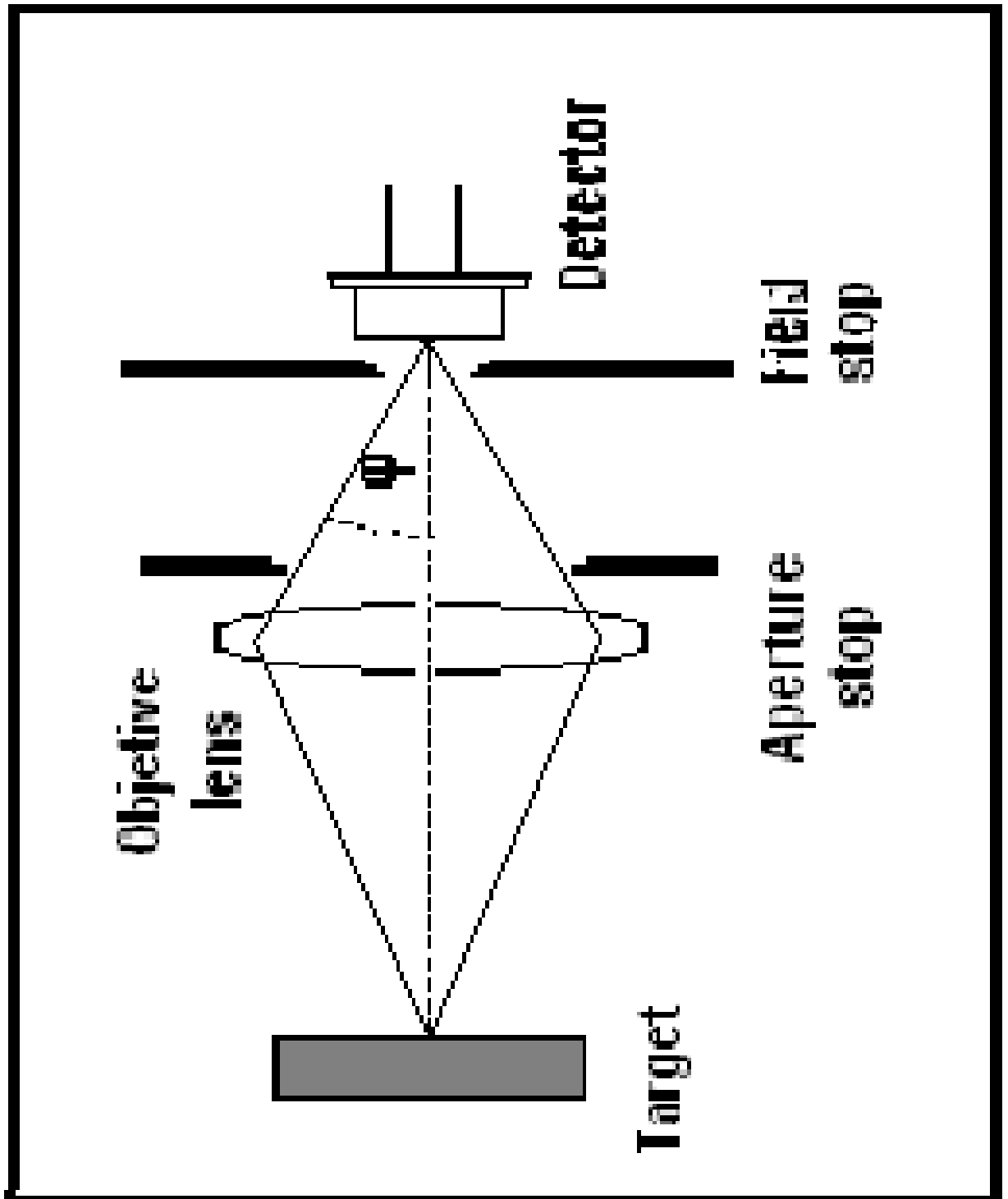
Se conservan registros manuscritos de las observaciones originales, copia de los certificados emitidos, como así también copia de la orden de trabajo, salida de elementos y demás documentación relacionada, de acuerdo con el Manual de la Calidad del INTI - Física y Metrología, Capítulo 11.

**16. Apéndices**

| INDICACIÓN DEL TERMÓMETRO | MODELO DE MEDICIÓN  |
|---------------------------|---|
| 1                         | Diagrama simplificado de un termómetro de radiación   |
| 2                         | Métodos de medición para la calibración de termómetros de radiación por comparación   |
| 3                         | Arreglo para calibrar termómetros de radiación entre $-20^{\circ}\text{C}$ y $140^{\circ}\text{C}$  |
| 4                         | Arreglo para calibrar termómetros de radiación entre $800^{\circ}\text{C}$ y $1500^{\circ}\text{C}$ (por comparación con termómetro de radiación) |
| 5                         | Arreglo para calibrar termómetros de radiación entre $800^{\circ}\text{C}$ y $1500^{\circ}\text{C}$ (por comparación con lámpara pirométrica)     |
| 6                         | Ejemplo de cálculo de incertidumbre para el caso de termómetro a calibrar digital y patrón del tipo de contacto (digital)                         |
| 7                         | Ejemplo de cálculo de incertidumbre para el caso de termómetro a calibrar digital y patrón del tipo de radiación (digital)                        |
| 8                         | Ejemplo de cálculo de incertidumbre para el caso de termómetro a calibrar analógico y patrón del tipo de radiación (digital)                      |
| 9                         | Ejemplo de cálculo de incertidumbre para el caso de termómetro a calibrar del tipo patrón secundario  |
| 10                        | Diagrama de trazabilidad para la calibración de termómetros de radiación  |

PEC06 Apéndice 1: Diciembre 2017

**DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UN TERMÓMETRO DE RADIACIÓN**



PEC06 Apéndice 2: Diciembre 2017

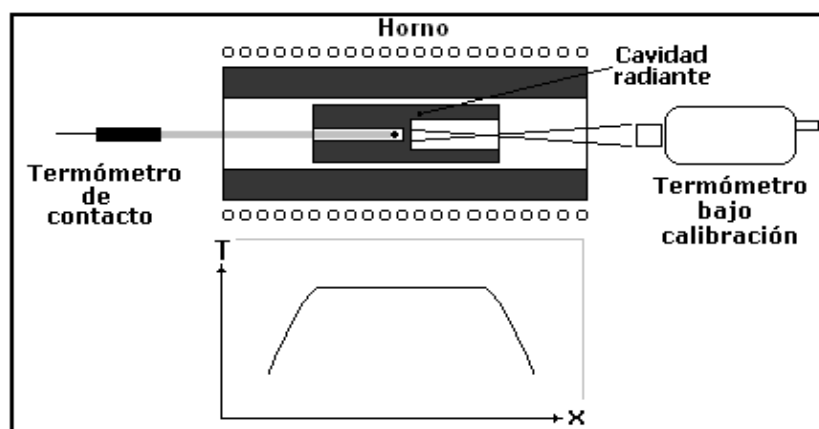
**MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA LA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE RADIACIÓN POR COMPARACIÓN**

Figura 1. Calibración por comparación con un termopar

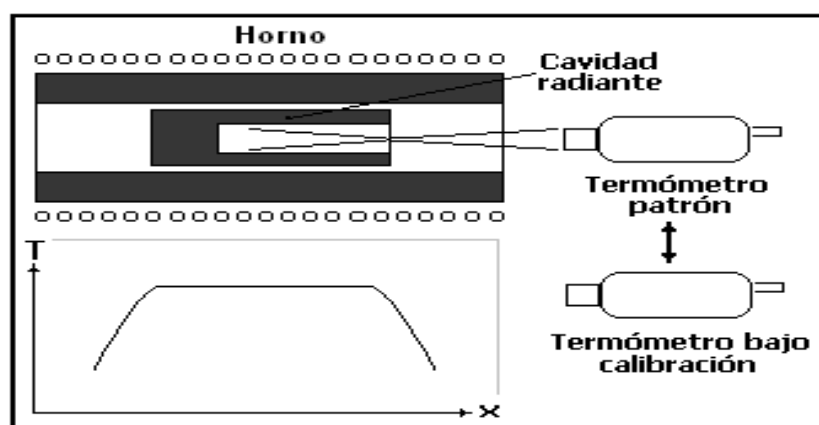


Figura 2. Calibración por comparación con un termómetro de radiación

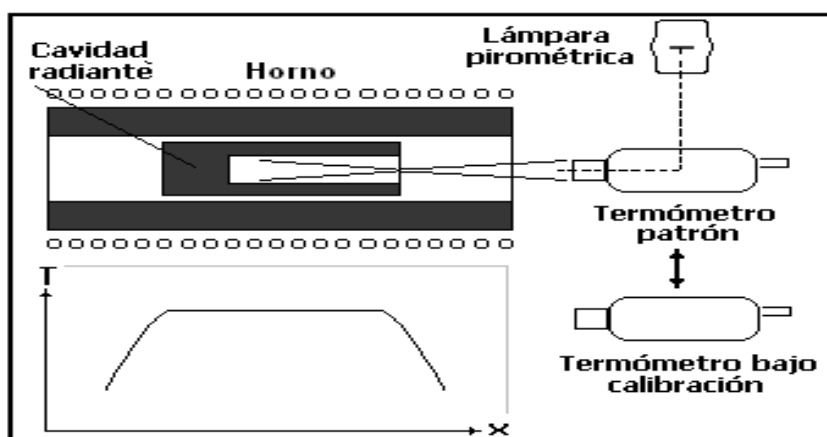
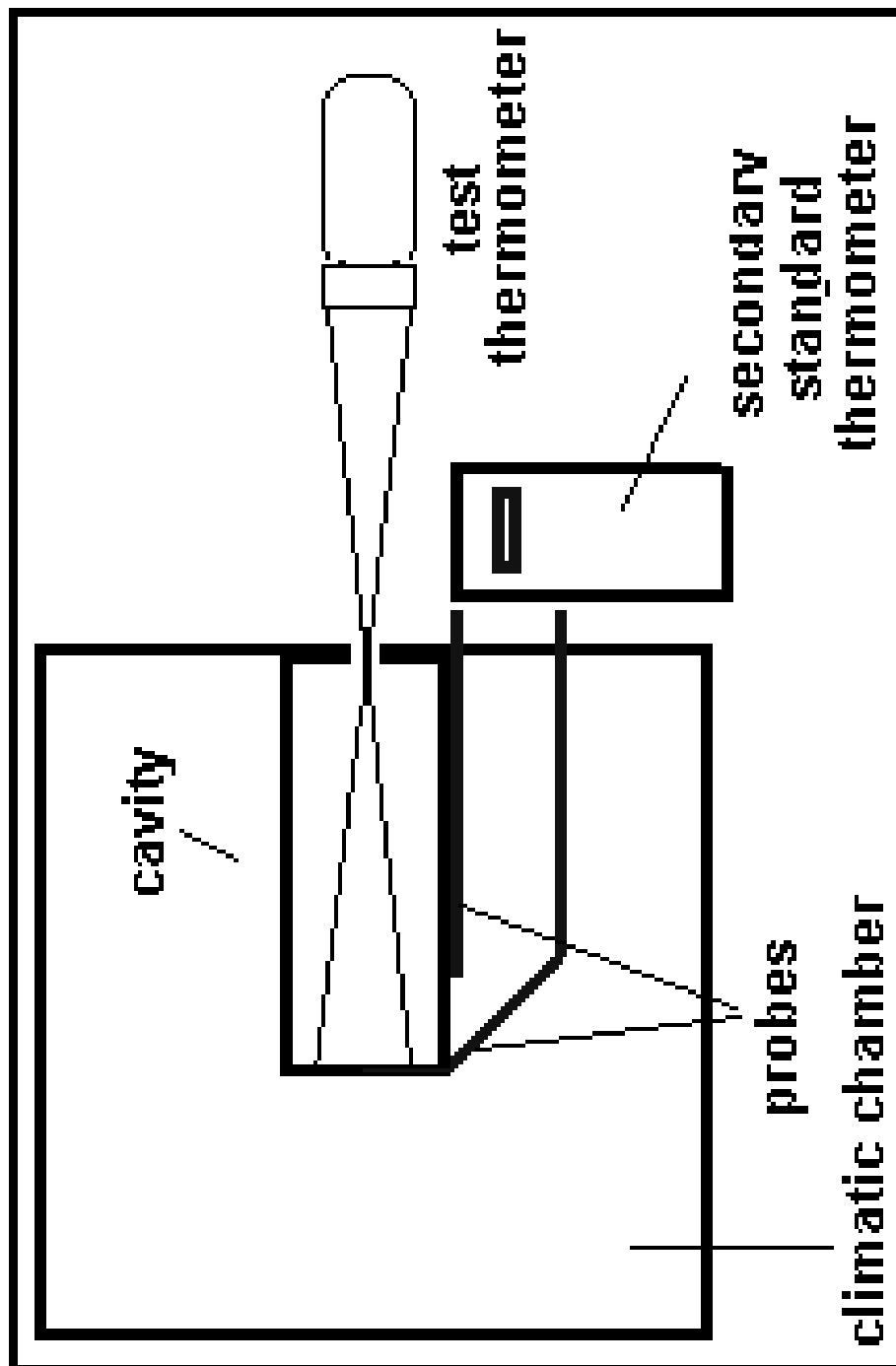


Figura 3. Calibración por comparación con una lámpara pirométrica

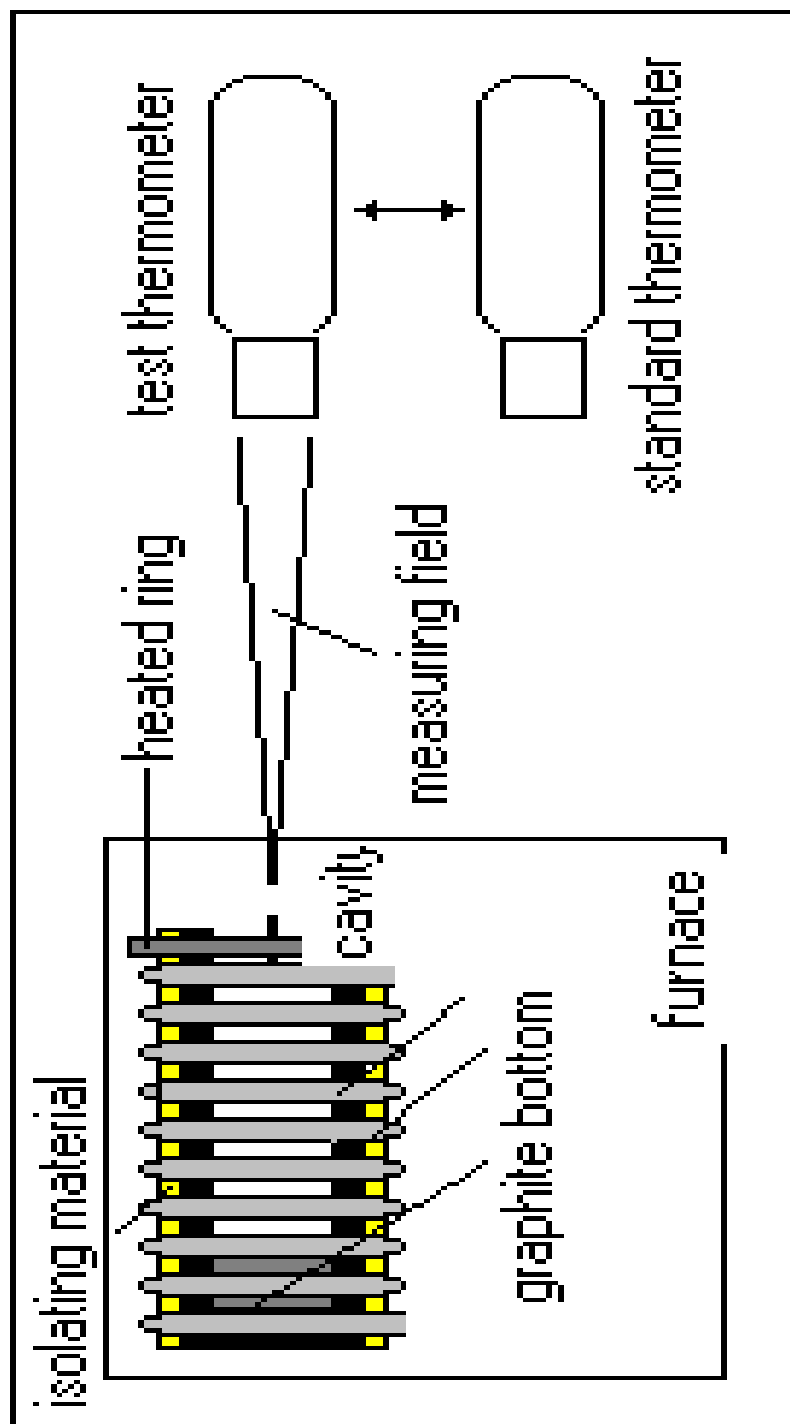


ARREGLO PARA CALIBRAR TERMÓMETROS DE RADIACIÓN ENTRE -20°C Y 150°C



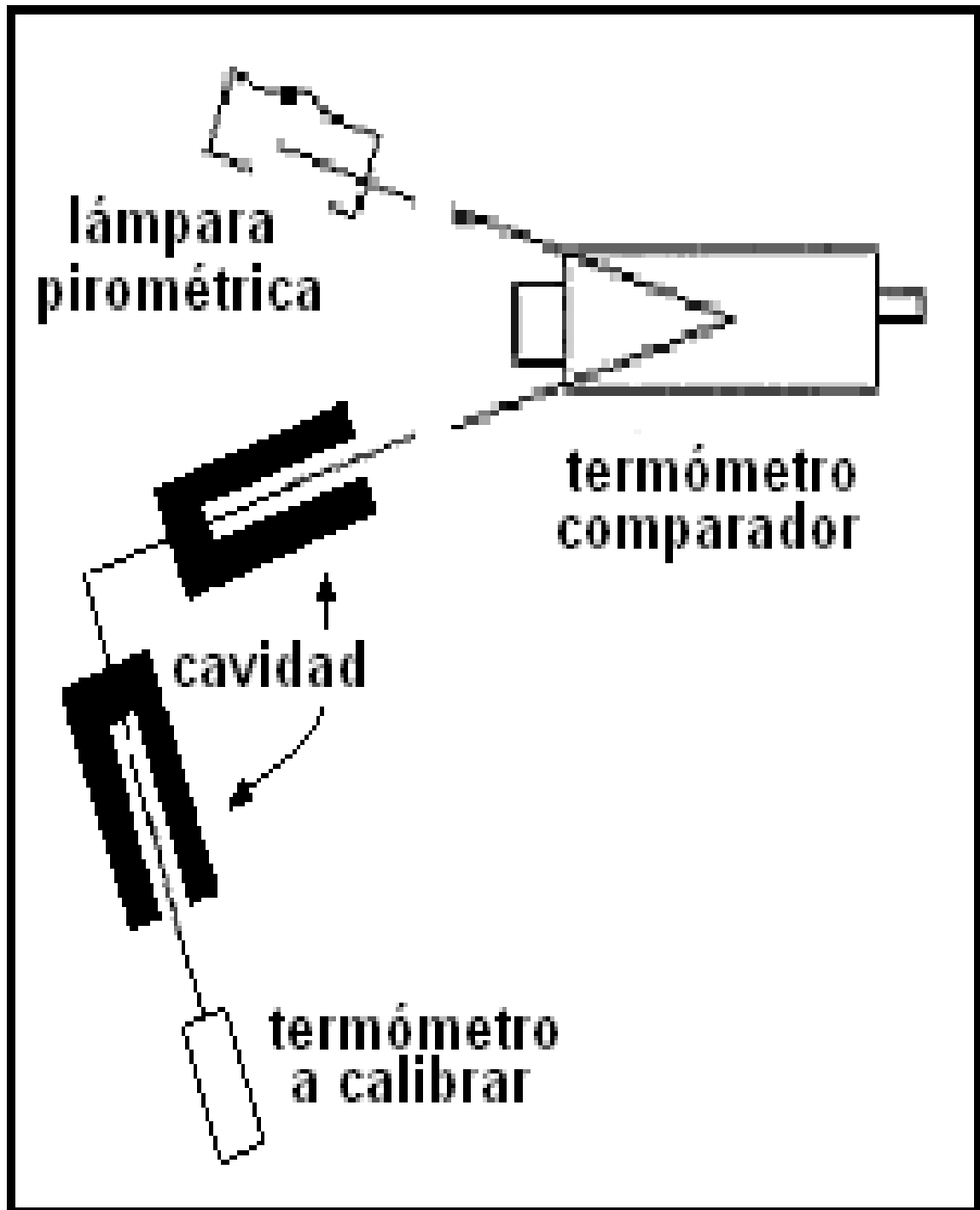
PEC06 Apéndice 4: Diciembre 2017

**ARREGLO PARA CALIBRAR TERMÓMETROS DE RADIACIÓN ENTRE 800°C Y 1500°C (POR COMPARACIÓN CON TERMÓMETRO DE RADIACIÓN)**



PEC06 Apéndice 5: Diciembre 2017

**ARREGLO PARA CALIBRAR TERMÓMETROS DE RADIACIÓN ENTRE 800°C Y 1500°C (POR COMPARACIÓN CON LÁMPARA PIROMÉTRICA)**



## PEC06 Apéndice 6: Diciembre 2017

## EJEMPLO DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA EL CASO DE TERMÓMETRO A CALIBRAR DIGITAL Y PATRÓN DEL TIPO DE CONTACTO (DIGITAL)

|  |                               |        |        |      |  |
|--|-------------------------------|--------|--------|------|--|
| EMPRESA / CLIENTE                                  |                               |        |        |      |  |
| IDENTIFICACIÓN DEL SERVICIO                        | OT 8409                       |        |        |      |  |
| FECHA DE CALIBRACIÓN                               | 28-Marzo-2005 a 05-Abril-2005 |        |        |      |  |
| DATOS DE MEDICION Y CALCULO                        |                               |        |        |      |  |
| Datos  | Símb                          | Valor  | Inc    | Unid | Observaciones  |
| Termómetro a calibrar                              |                               |        |        |      |  |
| Longitud de onda del termómetro                    | $\lambda_x$                   | 11     | 6      | um   |  |
| Emitancia efectiva de base cavidad ( $\lambda_x$ ) | $\epsilon_x$                  | 0.9994 | 0.0003 |      | CAV2 VOETSCH ( $\phi = 50$ mm, L = 330mm)                              |
| Emitancia instrumental                             | $\epsilon_{ix}$               | 1.0000 |        |      |  |
| Emitancia efectiva base cav no iso ( $\lambda_x$ ) | $\epsilon_x'$                 | 0.9979 | 0.0010 |      | 108.5°C en fondo, 106.1°C (10cm fondo), 100.6°C (apertura p/extrapol.) |
| Tamaño de blanco                                   | $\phi_x$                      | 20     |        | mm   |  |
| Distancia blanco - termómetro                      | dx                            | 100    |        | mm   | Distancia = 100mm (boca cavidad-pirometro)); FOV 50:1                  |
| Temperatura detector                               | td                            | 25.0   |        | °C   | se asume igual a la t ambiente   |
| Efecto de tamaño de blanco (SSE)                   | se midió a 100°C              |        |        | %    | $S(r) = 1,000018 * (1 - \exp(-176,28967 * (r - 0,0074474183)))$        |
| Compensación radiancia ambiental                   |                               | 1      |        |      | 1 = compensación ambiental activada                                    |
| Indicación del termómetro                          | tx                            | 103.5  |        | °C   |  |
| Termómetro patrón                                  |                               |        |        |      |  |
| Indicación termómetro                              | tp                            | 108.5  |        | °C   |  |
| Datos de medición y cálculo                        |                               |        |        |      |  |
| Valor nominal de calibración                       | tn                            | 100    |        | °C   |  |
| Temperatura de referencia                          | tr                            | 108.3  |        | °C   |  |
| Diferencia temp referencia - patrón                | $\delta trp$                  | -0.2   |        | °C   |  |
| Condiciones ambientales                            |                               |        |        |      |  |
| Temperatura ambiente                               | tamb                          | 25.0   | 0.6    | °C   | termohigrómetro TFA radiación, tamb = (24,6 + 0,4)°C = 25,0 °C         |
| Humedad relativa ambiente                          | HRA                           | 70     | 5      | %    | termohigrómetro TFA radiación, HRA = (69+1)% = 70%                     |

## BALANCE DE INCERTIDUMBRES EN CALIBRACION

|                 |  |
|-----------------|--|
| Procedimiento:  | PEC06                                    |
| Calibración de: | Termómetros de radiación por comparación |

Modelo asociado a la medición:

$$\delta t_x = t_p - t_x + \delta trp + \delta t_1 + \dots + \delta t_{10}$$

| Fuente de incertidumbre             | Símb | Valor estimado |    | Tipo | Dis | Intervalo (±) |    | Fac | u <sub>i</sub> |    | v <sub>i</sub> | c <sub>i</sub> |   | %     |
|-------------------------------------|------|----------------|----|------|-----|---------------|----|-----|----------------|----|----------------|----------------|---|-------|
| Resolución termómetro patrón        | δi1  | 0              | °C | BR   | R   | 0.05          | °C | 1.7 | 0.0            | °C | 50             | 1              | 1 | 0.4%  |
| Error termómetro patrón             | δi2  | -0.2           | °C | BN   | N   | 0.40          | °C | 2.0 | 0.2            | °C | 50             | 1              | 1 | 19.3% |
| Repetibilidad termómetro patrón     | δi3  | 0              | °C | A1   | N   |               |    |     | 0.05           | °C | 5              | 1              | 1 | 1.2%  |
| Resolución termómetro a calibrar    | δi4  | 0              | °C | BR   | R   | 0.10          | °C | 1.7 | 0.06           | °C | 50             | 1              | 1 | 1.6%  |
| Repetibilidad termómetro a calibrar | δi5  | 0              | °C | A1   | N   |               |    |     | 0.1            | °C | 5              | 1              | 1 | 4.8%  |
| Estabilidad temperatura cavidad     | δi6  | 0              | °C | BR   | R   | 0.10          | °C | 1.7 | 0.1            | °C | 5              | 1              | 1 | 1.6%  |
| Homogeneidad temperatura cavidad    | δi7  | 0              | °C | BR   | R   | 0.1           | °C | 1.7 | 5.7E-02        | °C | 50             | 1              | 1 | 1.5%  |
| Efecto de tamaño de blanco          | δi8  | -0.3           | °C | BR   | R   | 0.7           | °C | 1.7 | 3.8E-01        | °C | 50             | 1              | 1 | 68.8% |
| Incertidumbre emitancia cavidad     | δi9  | 0              | °C | BR   | R   | 0.1           | °C | 1.7 | 3.8E-02        | °C | 50             | 1              | 1 | 0.7%  |
| Variación de temperatura ambiente   | δi10 | 0              | °C | BR   | R   | 0.0           | °C | 1.7 | 1.2E-04        | °C | 50             | 1              | 1 | 0.0%  |
| Corrección                          | δtx  | 4.5            | °C |      | N   | 9.0E-01       | °C | 2.0 | 4.6E-01        | °C | 93             |                |   | 100%  |

$$\delta t_x = 4 \text{ °C} \quad U = 1 \text{ °C} \quad t_x = 104 \text{ °C}$$

## PEC06 Apéndice 7: Diciembre 2017

## EJEMPLO DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA EL CASO DE TERMÓMETRO A CALIBRAR DIGITAL Y PATRÓN DEL TIPO DE RADIACIÓN (DIGITAL)

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| EMPRESA / CLIENTE           |           |
| IDENTIFICACIÓN DEL SERVICIO | OT 6798   |
| FECHA DE CALIBRACIÓN        | 21-Nov-03 |

## DATOS DE MEDICIÓN Y CÁLCULO

|  |                 |        |        |    |   |
|--|-----------------|--------|--------|----|---|
| <b>Termómetro a calibrar</b>                           |                 |        |        |    |   |
| Longitud de onda                                       | $\lambda_x$     | 0.95   | 0.30   | um |   |
| Emitancia efectiva de base cavidad ( $\lambda_x$ )     | $\epsilon_x$    | 0.9994 | 0.0002 | 1  | CAV TRAMEC  |
| Emitancia instrumental                                 | $\epsilon_{ix}$ | 1.0000 |        | 1  |   |
| Emitancia efectiva base cav no iso p / ( $\lambda_x$ ) | $\epsilon_{x'}$ | 0.983  | 0.006  | 1  | T frente = 228°C + 0.47 * T fondo (ref. OT 1614/01) |
| Tamaño de blanco                                       | $\phi_x$        | 5      |        | mm |   |
| Distancia blanco - termómetro                          | $d_x$           | 1      |        | m  |   |
| Temperatura detector                                   | $t_{dx}$        | 27     |        | °C | se asume igual a la t ambiente                      |
| Efecto de tamaño de blanco (SSE)                       |                 | 0.5    |        | %  | 1% p/ term. portátiles y 3% p/term. linea           |
| Compensación de radiancia ambiental                    |                 | 1      |        |    | 1 = compensación ambiental activada                 |
| Indicación del termómetro                              | $t_x$           | 1478.3 |        | °C |   |
| <b>Termómetro patrón</b>                               |                 |        |        |    |   |
| Longitud de onda                                       | $\lambda_p$     | 0.95   | 0.30   | um |   |
| Emitancia efectiva de base cavidad ( $\lambda_p$ )     | $\epsilon_p$    | 0.9994 | 0.0002 | 1  |   |
| Emitancia instrumental                                 | $\epsilon_{ip}$ | 1.0000 |        | 1  |   |
| Emitancia efectiva base cav no iso p / ( $\lambda_p$ ) | $\epsilon_{p'}$ | 0.983  | 0.006  | 1  | T frente = 228°C + 0.47 * T fondo                   |
| Tamaño de blanco                                       | $\phi_p$        | 5      |        | mm |   |
| Distancia blanco - termómetro                          | $d_p$           | 1      |        | m  |   |
| Temperatura detector                                   | $t_{dp}$        | 27     |        | °C | se asume igual a la t ambiente                      |
| Compensación de radiancia ambiental                    |                 | 1      |        |    | 1 = compensación ambiental activada                 |
| Indicación del termómetro                              | $t_p$           | 1476.0 |        | °C |   |
| <b>Datos de medición y cálculo</b>                     |                 |        |        |    |   |
| Valor nominal de calibración                           | $t_n$           | 1500   |        | °C |   |
| Temperatura cavidad                                    | $t_c$           | 1476.1 |        | °C |   |
| Temperatura de referencia                              | $t_r$           | 1476.0 |        | °C |   |
| Diferencia temp referencia - patrón                    | $\delta t_{rp}$ | 0      |        | °C |   |
| <b>Condiciones ambientales</b>                         |                 |        |        |    |   |
| Temperatura ambiente                                   | $t_{amb}$       | 27     | 3      | °C |   |
| Humedad relativa ambiente                              | HRA             | 55     |        | %  |   |

## BALANCE DE INCERTIDUMBRES EN CALIBRACION

|                 |  |
|-----------------|--|
| Procedimiento:  | PEC06                                    |
| Calibración de: | Termómetros de radiación por comparación |

Modelo asociado a la medición:

$$\delta t_x = t_p - t_x + \delta t_{rp} + \delta t_1 + \dots + \delta t_{10}$$

| Fuente de incertidumbre                | Símb | Valor estimado | Tipo | Dis | Intervalo (±) | Fac     | u <sub>i</sub> |     | v <sub>i</sub> | c <sub>i</sub> |    | %      |   |       |
|--|------|----------------|------|-----|---------------|---------|----------------|-----|----------------|----------------|----|--------|---|-------|
| Resolución termómetro patrón           | δt1  | 0              | °C   | BR  | R             | 0.5     | °C             | 1.7 | 0.3            | °C             | 50 | 1      | 1 | 3.5%  |
| Error termómetro patrón                | δt2  | 0              | °C   | BN  | N             | 2.0     | °C             | 2.0 | 1              | °C             | 50 | 1      | 1 | 42.4% |
| Repetibilidad termómetro patrón        | δt3  | 0              | °C   | A   | N             |         |                |     | 0.5            | °C             | 5  | 1      | 1 | 10.6% |
| Resolución termómetro a calibrar       | δt4  | 0              | °C   | BR  | R             | 0.5     | °C             | 1.7 | 0.3            | °C             | 50 | 1      | 1 | 3.5%  |
| Repetibilidad termómetro a calibrar    | δt5  | 0              | °C   | A   | N             |         |                |     | 0.5            | °C             | 5  | 1      | 1 | 10.6% |
| Estabilidad temperatura cavidad        | δt6  | 0              | °C   | BR  | R             | 1.0     | °C             | 1.7 | 0.6            | °C             | 5  | 1      | 1 | 14.1% |
| Homogeneidad temperatura cavidad       | δt7  | 0              | °C   | BR  | R             | 0.0     | °C             | 1.7 | -6.1E-11       | °C             | 50 | 1      | 1 | 0.0%  |
| Efecto de tamaño de blanco             | δt8  | 0              | °C   | BR  | R             | 1.0     | °C             | 1.7 | 6.0E-01        | °C             | 50 | 1      | 1 | 15.1% |
| Incertidumbre emitancia cavidad        | δt9  | 0              | °C   | BR  | R             | 0.0     | °C             | 1.7 | -3.6E-11       | °C             | 50 | 1      | 1 | 0.0%  |
| Incertidumbre por temperatura ambiente | δt10 | 0              | °C   | A   | N             |         |                |     | 0.000          | °C             | 5  | 0.E+00 | 1 | 0.0%  |
| Corrección                             | δtx  | -2.3           | °C   |     | N             | 3.1E+00 | °C             | 2.0 | 1.5E+00        | °C             | 79 |        |   | 100%  |

$$\delta t_x = -2 \text{ °C} \quad U = 3 \text{ °C} \quad t_x = 1478 \text{ °C}$$

## PEC06 Apéndice 8: Diciembre 2017

## EJEMPLO DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA EL CASO DE TERMÓMETRO A CALIBRAR ANALÓGICO Y PATRÓN DEL TIPO DE RADIACIÓN (DIGITAL)

| EMPRESA / CLIENTE  |                 |                          |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
|--|-----------------|--------------------------|--------|-----|--|--------|-------|-------|----------|----|----|------|-------|-------|
| IDENTIFICACIÓN DEL SERVICIO  |                 |                          |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| FECHA DE CALIBRACIÓN   |                 |                          |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| <b>DATOS DE MEDICIÓN Y CÁLCULO</b>   |                 |                          |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Termómetro a calibrar  |                 | Honeywell Radiamatic N°1 |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Longitud de onda   | $\lambda_x$     | 1,50                     | 2,40   | um  | Pyrex lens   |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Emitancia efectiva de base cavidad ( $\lambda_x$ )                                     | $\epsilon_x$    | 0,9994                   | 0,0004 | 1   | CAV HORNO PTB JB S40                               |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Emitancia instrumental   | $\epsilon_{ix}$ | 1,00                     |        | 1   |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Emitancia efectiva base cav no iso p / ( $\lambda_x$ )                                 | $\epsilon_x'$   | 0,9864                   |        | 1   | Tfondo = 1087,5°C, Tboca = 850,5°C                 |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Tamaño de blanco   | $\phi_x$        | 35                       |        | mm  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Distancia blanco - termómetro  | $d_x$           | 0,50                     |        | m   |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Temperatura detector   | $t_{dx}$        | 26,1                     |        | °C  | se asume igual a la t ambiente                     |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Efecto de tamaño de blanco (SSE)   |                 | 3                        |        | %   | 1% p/ term. portátiles y 3% p/term. línea          |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Compensación de radiancia ambiental  |                 | 1                        |        |     | 1 = compensación ambiental activada                |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Indicación del termómetro a calibrar   | $S_x$           | 6,343                    | 0,039  | mV  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Termómetro patrón  |                 | LAND MINOLTA IR630       |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Longitud de onda   | $\lambda_p$     | 0,95                     | 0,30   | um  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Emitancia efectiva de base cavidad ( $\lambda_p$ )                                     | $\epsilon_p$    | 0,9996                   | 0,0004 | 1   |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Emitancia instrumental   | $\epsilon_{ip}$ | 1,0000                   |        | 1   |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Emitancia efectiva base cav no iso p / ( $\lambda_p$ )                                 | $\epsilon_p'$   | 0,9830                   |        | 1   | Tfondo = 800°C, T frente = 560°C                   |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Tamaño de blanco   | $\phi_p$        | 5,7                      |        | mm  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Distancia blanco - termómetro  | $d_p$           | 1,2                      |        | m   |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Temperatura detector   | $t_{dp}$        | 26,1                     |        | °C  | se asume igual a la t ambiente                     |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Compensación de radiancia ambiental  |                 | 1                        |        |     | 1 = compensación ambiental activada                |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Indicación termómetro patrón   | $I_p$           | 1192,0                   | 0,1    | °C  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| <b>Datos de medición y cálculo</b>   |                 |                          |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Temperatura cavidad  | $t_c$           | 1192,1                   |        | °C  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Temperatura de referencia  | $t_r$           | 1191,9                   |        | °C  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Diferencia temp referencia - patrón  | $\delta I_{rp}$ | -0,1                     |        | °C  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Ajuste de datos a valores nominales  |                 | 1                        |        |     | 0 = NO (datos crudos), 1 = SI (datos interpolados) |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Coeficiente de calibración $S = S(T)$  | A               | -11,1020630              |        |     | $S(t) = A+B \cdot t + C \cdot t^2 + D \cdot t^3$   |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Coeficiente de calibración $S = S(T)$  | B               | 0,040283657              |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Coeficiente de calibración $S = S(T)$  | C               | -5,35E-05                |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Coeficiente de calibración $S = S(T)$  | D               | 2,7890E-08               |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Error cuadrático medio del ajuste  | $\sigma$        | 0,015                    |        | mV  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Valor nominal de calibración   | $t_{pn}$        | 1200                     |        | °C  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Indicación nominal termómetro a calibrar   | $S(t_{pn})$     | 8,43                     |        | mV  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Indicación nominal de referencia   | $t_{rn}$        | 1199,9                   |        | °C  |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| <b>Condiciones ambientales</b>   |                 |                          |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Temperatura ambiente   | $t_{amb}$       | 26,1                     | 0,5    | °C  | 26,6°C-0.5°C                                       |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Humedad relativa ambiente  | HRA             | 47                       | 4      | %   | 46%+1%   |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| <b>BALANCE DE INCERTIDUMBRES EN CALIBRACION</b>  |                 |                          |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Procedimiento: PEC06   |                 |                          |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Calibración de: Termómetros de radiación por comparación (indicación: señal eléctrica) |                 |                          |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Modelo asociado a la medición:   |                 |                          |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| $S_x + c_1 \cdot \delta t_1 + \dots + \delta S_4 + \dots + \delta S_{12}, t_r, U(t_r)$ |                 |                          |        |     |  |        |       |       |          |    |    |      |       |       |
| Fuente de incertidumbre  | Símb            | Valor estimado           | Tipo   | Dis | Intervalo ( $\pm$ )                                | Fac    | $u_i$ | $v_i$ | $c_i$    | %  |    |      |       |       |
| Resolución termómetro patrón   | $\delta I_1$    | 0                        | °C     | BR  | R  | 0,5    | °C    | 1,7   | 0,3      | °C | 50 | 1    | 1     | 0,3%  |
| Corrección termómetro patrón   | $\delta I_2$    | 0                        | °C     | BN  | N  | 2,0    | °C    | 2,0   | 1        | °C | 50 | 1    | 1     | 4,0%  |
| Repetibilidad termómetro patrón  | $\delta I_3$    | 0                        | °C     | A   | N  |        |       |       | 0,1      | °C | 5  | 1    | 1     | 0,0%  |
| Resolución indicador termómetro a calibrar   | $\delta S_4$    | 0                        | mV     | BR  | R  | 0,0001 | mV    | 1,7   | 0,0      | mV | 50 | 30,8 | °C/mV | 0,0%  |
| Repetibilidad indicador termómetro a calibrar  | $\delta S_5$    | 0                        | mV     | A   | N  |        |       |       | 0,039    | mV | 5  | 30,8 | °C/mV | 5,8%  |
| Error indicador termómetro a calibrar  | $\delta S_6$    | 0                        | mV     | BN  | N  | 0,003  | mV    | 2,0   | 0,00125  | mV | 50 | 30,8 | °C/mV | 0,0%  |
| Estabilidad temperatura cavidad  | $\delta I_7$    | 0                        | °C     | BR  | R  | 1,0    | °C    | 1,7   | 0,6      | °C | 5  | 1    | 1     | 1,3%  |
| Homogeneidad temperatura cavidad   | $\delta I_8$    | 0                        | °C     | BR  | R  | -1,0   | °C    | 1,7   | -5,9E-01 | °C | 50 | 1    | 1     | 1,4%  |
| Efecto de tamaño de blanco   | $\delta I_9$    | 0                        | °C     | BR  | R  | 8,0    | °C    | 1,7   | 4,6E+00  | °C | 50 | 1    | 1     | 86,2% |
| Incetidumbre emitancia cavidad   | $\delta I_{10}$ | 0                        | °C     | BR  | R  | 0,0    | °C    | 1,7   | 2,7E-02  | °C | 50 | 1    | 1     | 0,0%  |
| Incetidumbre por temperatura ambiente  | $\delta I_{11}$ | 0                        | °C     | A   | N  |        |       |       | 3,3E-10  | °C | 5  | 0    | 1     | 0,0%  |
| Ajuste de datos (regresión)  | $\delta S_{12}$ | 2,09                     | mV     | A   | N  |        |       |       | 1,5E-02  | mV | 5  | 30,8 | °C/mV | 0,9%  |
| Indicación del instrumento   | $S_x$           | 8,43                     | mV     | N   | N  | 10,0   | °C    | 2,0   | 5,0      | °C | 64 |      |       | 100%  |

## PEC06 Apéndice 9: Diciembre 2017

**EJEMPLO DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA EL CASO DE TERMÓMETRO A CALIBRAR DEL TIPO PATRON SECUNDARIO**

|    |  |  |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|--|--|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|    | A  | B                                      | C              | D   | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
| 2  | IDENTIFICACIÓN DEL SERVICIO                                  | PCC07/04                               |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  | INSTRUMENTO  | Termómetro de radiación MINOLTA IR-630 |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  | FECHA DE CALIBRACIÓN   | Sep-02                                 |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  |  |  |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  | DATOS DE MEDICIÓN Y CÁLCULO                                  |  |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  | Datos  | Símb                                   | Valor estimado | Unidad                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  | Lámpara de referencia  | C668                                   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  | Resistor asociado a lampara de referencia                    | R9941                                  | 0.00999947     | $\Omega$                                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 | Tensión s/resistor asoc. lamp. Ref.                          | Vr                                     | 0.06756        | V   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 | Corriente por lámpara referencia                             | Ir                                     | 6.75636        | A   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 | Temperatura base lámpara referencia                          | tbr                                    | 25             | $^{\circ}\text{C}$                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 | Longitud de onda de calibración                              | $\lambda_l$                            | 6.5600E-07     | m   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 | (dt / d $\lambda$ ) (tr) para $\lambda = 655 \text{ nm}$     | dt/d $\lambda$                         | -1.46E+08      | $^{\circ}\text{C}/\text{m}$                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 | (dt / dTb) (tr) para $\lambda = 655 \text{ nm}$              | dt/dTb                                 | 2.39E-02       | $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 | (dt / dI) (tr) asoc. lámp. ref.                              | dt/dI                                  | 99.02          | $^{\circ}\text{C}/\text{A}$                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 | Indicación lámpara de referencia                             | tl                                     | 1100.04        | $^{\circ}\text{C}$                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 |  | tl                                     | 1373.19        | K   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 | Termómetro comparador  | LP2-04                                 |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 | Longitud de onda   | $\lambda_p$                            | 6.5326E-07     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 | Señal sobre lámpara de referencia                            | Slamp                                  | -0.8663        | V   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 | Señal sobre cavidad  | Scav                                   | -0.9079        | V   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 | Señal de fondo   | So                                     | 0.0000         | V   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 | Cavidad de transferencia                                     |  |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 | Emitancia  | e                                      | 1.000          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 | Temperatura de cavidad                                       | Tc                                     | 1104.4         | $^{\circ}\text{C}$ (se usó prog. Tike2.bas) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 | Termómetro a calibrar  | IR630                                  |                | con filtro de protección claro (LPF)        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 29 | Longitud de onda   | $\lambda_x$                            | 9.5000E-07     | m   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 30 | Indicación   | tx                                     | 1104.7         | $^{\circ}\text{C}$                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 31 | Indicación   | tx                                     | 1377.9         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 32 | Datos de medición y cálculo                                  |  |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 33 | Dif. long onda lamp. ref. y termómetro                       | $\delta\lambda$                        | 0.4            | $^{\circ}\text{C}$                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 34 | Corrección p/dif. de señales Sr y Sx                         | $\delta\lambda_s$                      | 4.4            | $^{\circ}\text{C}$                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 35 | Corr p/emtancia no nula y diferencia $\lambda_x - \lambda_p$ | $\delta\lambda_{xp}$                   | 0.0            | $^{\circ}\text{C}$                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 36 | Condiciones ambientales                                      |  |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 37 | Humedad relativa ambiente                                    | HRA                                    |                | $\%$  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 38 | Temperatura ambiente   | Ta                                     |                | $^{\circ}\text{C}$                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 39 |  |  |                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

|    | A   | B | C  | D              | E    | F   | G             | H        | I   | J              | K       | L              | M              | N        | Q     |       |
|----|---|---|--|----------------|------|-----|---------------|----------|-----|----------------|---------|----------------|----------------|----------|-------|-------|
| 40 | BALANCE DE INCERTIDUMBRES EN CALIBRACION  |   |  |                |      |     |               |          |     |                |         |                |                |          |       |       |
| 41 | Procedimiento:  |   | PEC06                                    |                |      |     |               |          |     |                |         |                |                |          |       |       |
| 42 | Calibración de:   |   | Termómetros de radiación por comparación |                |      |     |               |          |     |                |         |                |                |          |       |       |
| 43 | Modelo asociado a la medición:  |   |  |                |      |     |               |          |     |                |         |                |                |          |       |       |
| 44 | $\delta t = t_r - t_x + \delta t_{\lambda} + \delta t_s + \delta t_{xp} + \delta t_{elr}... + \delta t_{fil}$ |   |  |                |      |     |               |          |     |                |         |                |                |          |       |       |
| 45 | Fuente de incertidumbre   |   | Símb                                     | Valor estimado | Tipo | Dis | Intervalo (±) |          | Fac | u <sub>i</sub> |         | v <sub>i</sub> | c <sub>i</sub> |          | %     |       |
| 46 | Error lámpara de referencia   |   | δtelr                                    | 0              | °C   | A1  | N             |          |     | 3.0E-01        | °C      | 50             |                |          | 1     | 15.0% |
| 47 | Error modelo de ajuste Tr = T(lr)   |   | δtma                                     | 0              | °C   | A1  | N             |          |     | 2.0E-02        | °C      | 2              |                |          | 1     | 0.1%  |
| 48 | Error tensión resistencia lámp. ref.  |   | δVelr                                    | 0              | V    | BR  | R             | 7.4E-06  | V   | 1.7            | 4.3E-06 | V              | 50             | 9.9E+03  | °C/V  | 0.3%  |
| 49 | Error resistencia asoc. lámp. ref.  |   | δRelr                                    | 0              | Ω    | BN  | N             | 4.6E-08  | Ω   | 2.0            | 2.3E-08 | Ω              | 50             | 6.7E+04  | °C/Ω  | 0.0%  |
| 50 | Repetibilidad tensión por lámp. ref.  |   | δVtrlr                                   | 0              | V    | A1  | N             |          |     | 1.5E-06        | V       | 5              | 9.9E+03        | °C/V     | 0.0%  |       |
| 51 | Repetibilidad señal term comp p/lámp. ref.  |   | δSlamp                                   | 0              | V    | A1  | N             |          |     | 2.0E-04        | V       | 5              | 99             | °C/V     | 0.1%  |       |
| 52 | Error señal term comp p/ lámp. ref.   |   | δVelr                                    | 0              | V    | BR  | R             | 7.13E-05 | V   | 1.7            | 4.1E-05 | V              | 50             | 99       | °C/V  | 0.0%  |
| 53 | Repetibilidad señal term comp p/ cavidad  |   | δVrcav                                   | 0              | V    | A1  | N             |          |     | 1.0E-03        | V       | 5              | 95             | °C/V     | 1.5%  |       |
| 54 | Error señal term comp p/ cavidad  |   | δVecav                                   | 0              | V    | BR  | R             | 7.46E-05 | V   | 1.7            | 4.3E-05 | V              | 50             | 95       | °C/V  | 0.0%  |
| 55 | Repetibilidad señal de fondo term comp  |   | δVrfon                                   | 0              | V    | A1  | N             |          |     | 0.0E+00        | V       | 5              | -5             | °C/V     | 0.0%  |       |
| 56 | Repetibilidad termómetro a calibrar   |   | δtrx                                     | 0              | °C   | A1  | N             |          |     | 5.0E-01        | °C      | 5              | 1              | 1        | 41.6% |       |
| 57 | Resolución termómetro a calibrar  |   | δtresx                                   | 0              | °C   | BR  | R             | 1.0E-01  | °C  | 1.7            | 5.8E-02 | °C             | 50             | 1        | 1     | 0.6%  |
| 58 | Error ubicación campo med. lámp. ref.   |   | δlugr                                    | 0              | mm   | BR  | R             | 2.0E-01  | mm  | 1.7            | 1.2E-01 | mm             | 50             | 1.0E+00  | °C/mm | 2.2%  |
| 59 | Efecto de tamaño de blanco term comp.   |   | δtssep                                   | 0              | °C   | BR  | R             | 2.2E-01  | °C  | 1.7            | 1.3E-01 | °C             | 50             | 1.0E+00  | 1     | 2.7%  |
| 60 | Efecto de tamaño de blanco term a calibrar  |   | δtssex                                   | 0              | °C   | BR  | R             | 8.1E-01  | °C  | 1.7            | 4.6E-01 | °C             | 51             | 1.0E+00  | 1     | 36.0% |
| 61 | Resolución del termómetro comparador  |   | δtrep                                    | 0              | °C   | BR  | R             | 2.0E-02  | °C  | 1.7            | 1.2E-02 | °C             | 50             | 1.00     | 1     | 0.0%  |
| 62 | Ruido del termómetro comparador   |   | δtrui                                    | 0              | °C   | BR  | R             | 1.0E-02  | °C  | 1.7            | 5.8E-03 | °C             | 50             | 1.00     | 1     | 0.0%  |
| 63 | Variación temp.filtro term. Comparador  |   | δtfil                                    | 0              | °C   | BR  | R             | 1.0E+00  | °C  | 1.7            | 5.8E-01 | °C             | 50             | -2.9E-03 | °C/°C | 0.0%  |
| 64 | Corrección  |   | δt                                       | -0.3           | °C   | N   |               | 1.6E+00  | °C  | 2.1            | 7.8E-01 | °C             | 27             |          |       | 100%  |
| 65 |   |   |  |                |      |     |               |          |     |                |         |                |                |          |       |       |
| 66 |   |   | δt =                                     | -0.3           | °C   | U = |               | 1.6      | °C  | tx =           |         | 1105           | °C             |          |       |       |

PEC06 Apéndice 10: Diciembre 2017

**DIAGRAMA DE TRAZABILIDAD PARA LA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE RADIACIÓN**