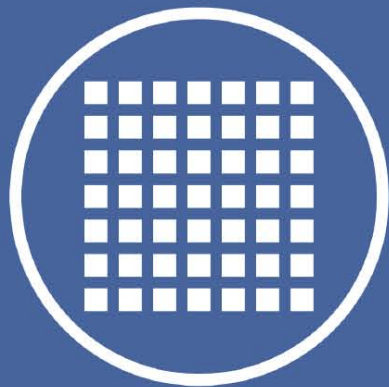


Copia No Controlada

Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación
en Física y Metrología



INTI



PEC 21

CALIBRACIÓN DE FUENTES RADIANTES AUTOMÁTICAS

Revisión: Agosto 2015

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.

PEC21 Lista de enmiendas: Agosto 2015

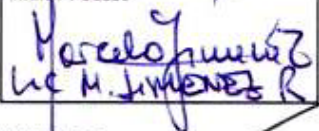
[illegible]

PEC21 Índice: Agosto 2015

NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISIÓN
Índice	Agosto 2015
Lista de enmiendas	Agosto 2015
Calibración de fuentes radiantes automáticas	Agosto 2015
Apéndice 1	Agosto 2015
Apéndice 2	Agosto 2015
Apéndice 3	Agosto 2015

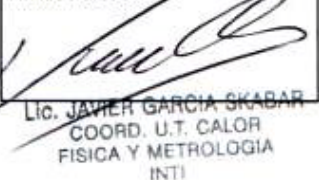
REALIZADO POR

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

PEC21: Agosto 2015

1. Objeto

Establecimiento del método de calibración de fuentes radiantes automáticas, útiles como referencia de temperatura de termómetros de radiación infrarroja.

2. Alcance

- 2.1.** Este procedimiento se aplica a fuentes radiantes que controlan automáticamente su temperatura y que se utilizan para verificar o calibrar termómetros de radiación infrarroja.
- 2.2.** Se trata de fuentes que poseen una placa radiante, generalmente circular, cuya superficie tiene una emisividad $\varepsilon \approx 0,95$, independiente de la longitud de onda. Este tipo de fuentes puede simular una superficie de emisividad (tip. $0,90 \leq \varepsilon \leq 1,00$) y de temperatura variables. Se las utiliza únicamente para calibrar termómetros que operan en la banda espectral comprendida entre 8 y 14 μm .
- 2.3.** La superficie radiante, según corresponda, debe poder cubrir un círculo de diámetro mayor o igual que 40 mm, centrado en su centro geométrico.
- 2.4.** El intervalo de calibración de la fuente está comprendido entre 15 °C y 500 °C.

3. Definiciones y abreviaturas

La definición de términos generales metrológicos se encuentra en el Manual de la Calidad, capítulo 2, en el Plan de la Calidad y en el texto del presente procedimiento.

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 , su unidad es $[\lambda] = \text{m}$.

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 , $[L] = \text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

Radiancia espectral

Es la radiancia por unidad de longitud de onda, se la nota como $L(\lambda)$, sus unidades son $[L(\lambda)] = \text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$.

Cuerpo negro

Un cuerpo totalmente absorbente que no refleja radiación. En equilibrio térmico un cuerpo negro absorbe e irradia con la misma intensidad. Un cuerpo negro emite radiación de acuerdo a la ley de radiación de Planck.

Ley de radiación de Planck

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

$$L(\lambda, T) = c_{1L} \cdot \lambda^{-5} \cdot [\exp(c_2 / \lambda T) - 1]^{-1} \quad \text{Donde: } c_{1L} = 1,1911 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}, \quad c_2 = 0,014388 \text{ m} \cdot \text{K}$$

Emisividad

Relación entre la radiancia emitida por la superficie del material y la emitida por un cuerpo negro a igual temperatura.

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.

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.

Fuente radiante automática

Aparato que dispone de una superficie de alta emisividad y cuya temperatura es elegible y es mantenida estable.

Tamaño de fuente 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.

PEC21: Agosto 2015

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.

Función de onda pirométrica $\phi(\lambda)$ de un termómetro de radiación

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

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

The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), H. Preston-Thomas, Metrología, 27, 3-10, 1990, Springer Verlag

Theory and practice of radiation thermometry, D.P. DeWitt, G.D. Nutter, John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-471-61018-6

Applications of radiation thermometry, J.C. Richmond, D.P. DeWitt, ASTM Special Technical Publication 895, ISBN0-8031-0445-6

The guide to the expression of uncertainty in measurement, ISO/TAG4/WG3, NIST, 1995

Visual disappearing-filament pyrometer, OIML International Recommendation N° 18

Standard Test Methods for Radiation Thermometers (Single Waveband Type), ASTM E1256

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

Calibration uncertainties in Infra-Red Radiation Thermometry, M. Ballico, CSIRO-National Measurement Laboratory (Australia),

The size of source effect (SSE) and its influence on the uncertainties in radiation thermometry, M. Batuello, Euromet, (<http://pyrometrie.free.fr/>)

5. Responsabilidades

Del Coordinador de la Unidad Técnica Calor

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

Del personal del laboratorio

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

6. Instrumentación utilizada

Temperatura

Termómetro de radiación marca Minolta, modelo IR-510, n/s 16111051.

Humedad

Termo-higrómetro marca TFA, identificado como "Radiación".

Programas de computación

Table Curve: ajuste de curvas a datos de medición con información estadística.

Mathcad: para cálculos auxiliares.

Excel: para cálculo de incertidumbres.

PEC21: Agosto 2015

7. Descripción de los instrumentos a calibrar

Se trata de fuentes radiantes compuestas por una placa metálica que el mismo instrumento puede calefaccionar o refrigerar. La temperatura de la placa radiante es mantenida en un valor estable mediante un controlador de temperatura alimentado por la salida de un sensor de temperatura que se halla en contacto con el mismo. El valor de temperatura de trabajo, o temperatura de consigna, es elegible por el operador. Estas fuentes tienen su placa recubierta por una película de emisividad cercana a 0,95.

Algunos modelos pueden simular una superficie de emisividad distinta de aquella de la película (tip., $0,90 \leq \varepsilon \leq 1,00$), a la temperatura de consigna elegida por el usuario. El aparato logra esto, cambiando su temperatura real para simular un cuerpo de emisividad y temperatura iguales a las de consigna. Ello es posible dado que el termómetro de radiación no sensa la temperatura de la fuente, sino parte de la radiancia emitida por ella, la que depende de la temperatura y de la emisividad del elemento radiante. De este modo, el instrumento hace uso del hecho que existen diferentes combinaciones de emisividad y temperatura que corresponden a un mismo valor de radiancia.

8. Principios de la calibración

Existen diferentes alternativas para calibrar este tipo de fuentes. La utilizada en este procedimiento consiste en medir la temperatura de radiancia del elemento radiante, con un termómetro de radiación de 8 a 14 μm , el cual es utilizado como patrón secundario. Este termómetro patrón posee una calibración que le permite medir la temperatura de un cuerpo negro.

La temperatura indicada por el termómetro patrón, t_p , es utilizada para obtener el valor de temperatura de referencia, t_r , que debería indicar un termómetro a calibrar, configurado para medir la temperatura de un cuerpo de emisividad igual a aquella con la que se configura a la fuente radiante.

Se determinan entonces los conjuntos de datos de la forma $\{t_x, \Delta t_{rx}, U(t)\}$ o de la forma $\{t_x, t_r, U(t)\}$. Donde $\Delta t_{rx} = t_r - t_x$, siendo t_x el valor de temperatura que muestra el indicador de la fuente radiante. El valor de la corrección Δt_{rx} puede expresarse como

$\Delta t_{rx} = t_r - t_x = (t_p - t_x) + (t_r - t_p) = (t_p - t_x) + \Delta t_{rp}$. Por otro lado $U(t)$ representa a los valores de incertidumbre asociados a la medición. Debido a que el valor de emisividad de configuración de la superficie de la fuente, ε_f , puede diferir de ε_p , entonces el valor de t_r puede diferir de la temperatura, t_s , de la superficie de la fuente.

Para obtener t_r a partir de t_p y con ello poder calcular $\Delta t_{rp} = t_r - t_p$, se resuelve la siguiente ecuación integral:

$$\varepsilon_p \cdot \int_{\lambda_p - \Delta\lambda_p/2}^{\lambda_p + \Delta\lambda_p/2} L(\lambda, (t_p \cdot \frac{K}{^\circ\text{C}} + 273,15\text{K}) \cdot \phi_p(\lambda) \cdot d\lambda + (1 - \varepsilon_p) \cdot \int_{\lambda_p - \Delta\lambda_p/2}^{\lambda_p + \Delta\lambda_p/2} L(\lambda, t_{\text{det } p} \cdot \frac{K}{^\circ\text{C}} + 273,15\text{K}) \cdot \phi_p(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$=$$

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

$$(1)$$

En la ecuación precedente, λ_p y $\Delta\lambda_p$, representan respectivamente a la longitud de onda de operación y ancho de banda del termómetro patrón. ε_p representa el valor de emisividad con que este está configurado ($\varepsilon_p = 1$). Similarmente λ_x y $\Delta\lambda_x$, representan respectivamente a la longitud de onda de operación y ancho de banda del termómetro que se calibrará utilizando esta fuente. Es de notar que $\lambda_p = \lambda_x = 11 \mu\text{m}$ y $\Delta\lambda_p = \Delta\lambda_x = 6 \mu\text{m}$. Por otro lado, t_{det} representa la temperatura del detector del termómetro de radiación patrón, la cual es medida por un termómetro interno que este posee y para ambos casos, resulta necesario asegurar que $t_{\text{det}} = t_{\text{amb}}$

El término inferior de la ecuación integral es proporcional a la radiancia, proveniente de la fuente, que recibe el termómetro a calibrar. Está compuesto por dos sumandos. El de la izquierda representa al aporte a la señal que genera el termómetro a calibrar debido a la radiancia emitida por la placa ra-

PEC21: Agosto 2015

diente. El de la derecha corresponde al aporte a dicha señal, debido a la reflexión de la radiancia ambiental sobre la placa radiante. El término superior de la ecuación es proporcional a la radiancia que recibe el termómetro patrón (con el que se calibra la fuente radiante), para la misma situación de emisión de la placa radiante.

Las ecuaciones integrales se resuelven por integración numérica y, dado que normalmente no se dispone de información sobre $\phi_x(\lambda)$ y de $\phi_p(\lambda)$, se asume en dicho proceso que estas magnitudes son constantes dentro de los respectivos intervalos de integración.

Los valores de temperatura de radiancia corresponden a t_r . Ellos sirven como referencia par la calibración de termómetros (8 a 14 μm). Los valores de temperatura de radiancia indicados pueden corresponder a diferentes valores de emitancia instrumental ϵ_i del termómetro a calibrar. Por ejemplo $\epsilon_i = 0,95$ y $1,00$.

Los valores de temperatura (t_s) de la superficie de la placa resultan iguales a los de temperatura de radiancia (t_r) cuando la emitancia instrumental del termómetro a calibrar se fija en el valor de emitancia de la superficie de la placa.

9. Condiciones ambientales e intervalos de estabilización

Durante la calibración la temperatura ambiente es mantenida en un valor t_{amb} , tal que: $22\text{ }^\circ\text{C} \leq t_{\text{amb}} \leq 24\text{ }^\circ\text{C}$. 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 (ver punto 6). Los intervalos de estabilización se indican en 10 y 11.

10. Acciones preliminares

Se realizan las siguientes acciones:

- Para garantizar que $t_{\text{det}} = t_{\text{amb}}$, se expone al termómetro patrón en la sala de calibración, durante al menos 1 h previo al inicio de las mediciones.
- Se registra la instrumentación involucrada en la medición.
- Se comprueba, por inspección visual que el instrumento se halle en buen estado de conservación, particularmente en lo que concierne a su cavidad/superficie radiante
- Se comprueba, por inspección visual, luego de habilitar su alimentación que el instrumento funcione.
- Se verifica el estado de limpieza de la óptica del termómetro patrón. En caso de considerarse adecuado se la limpia mediante soplado de aire.
- Se configura la emisividad instrumental ϵ_p del termómetro patrón de modo que $\epsilon_p = 1$.

11. Calibración

El termómetro es calibrado para un mínimo de cinco valores de temperatura. Para ello se cumplen los siguientes pasos:

- Se ubica al termómetro de radiación patrón a una distancia de la fuente radiante igual a la distancia para la cual fue calibrado.
- Se enfoca con el termómetro de radiación patrón el centro de la fuente radiante.
- Se configura el funcionamiento de la fuente radiante para que reproduzca un valor de temperatura solicitado para su calibración. Se comienza por el valor mínimo.
- Se espera el intervalo de estabilización que indica el manual de la fuente radiante. En caso de que este intervalo no se encuentre especificado se espera 15 min, luego de que el indicador de la fuente comienza a mostrar la temperatura de consigna, para el cual esta fue configurada.
- Se realiza una medición consistente en al menos 6 (seis) lecturas del termómetro patrón y 6 (seis) lecturas del indicador de la fuente y se las registra en la planilla de protocolo. Se calculan sus respectivos valores medios los cuales se asumen como valores de t_p y t_x respectivamente. También se calculan las desviaciones estándar correspondientes.
- Se calcula t_r o bien $\Delta t_{\text{rp}} = t_r - t_p$ resolviendo la ecuación integral.
- Se toma una lectura de temperatura ambiente y una de humedad relativa ambiente y se las registra en la planilla de protocolo.
- Se repiten los cuatro últimos pasos hasta completar con el último valor de temperatura de calibración.

PEC21: Agosto 2015

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	CORRECCIÓN
t_x	$\Delta t = (t_p - t_x) + \Delta t_p + (\delta t + \delta t_p + \dots)$

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 de la fuente radiante.

Δt_{tp} es el valor de la diferencia $t_r - t_p$ que se calcula a partir de la ecuación integral

Δt_{px} es el valor de la diferencia $t_p - t_x$ que se mide (datos crudos) o que se calcula (datos interpolados o ajustados)

δt_i y $U(\delta t_i)$ son respectivamente los valores de corrección e incertidumbre de la temperatura debido a:

1. La calibración del termómetro de patrón.

$U(\delta t_1)$ se obtiene de la incertidumbre de calibración U_{cal} ($k=2$) del termómetro patrón. $U(\delta t_1) = c1 \cdot U_{cal}/2$. El coeficiente de sensibilidad $c1 = |\partial(t_r - t_x)/\partial t_p| = |\partial t_r/\partial t_p|$. Finalmente $c1$ se calcula por propagación de t_p en la ecuación (1). Se considera: distribución normal e incertidumbre tipo B.

2. La resolución del termómetro de patrón.

$U(\delta t_2)$ se obtiene de la resolución (Δt_{resp}) del termómetro patrón. $U(\delta t_2) = c2 \cdot \Delta t_{resp}/2$, donde: $c2 = c1$. Se considera: distribución uniforme e incertidumbre tipo B.

3. La repetibilidad de la indicación del termómetro de patrón.

$U(\delta t_3)$ es igual a la desviación estándar, δt_p , de las indicaciones del termómetro patrón. $U(\delta t_3) = c3 \cdot \delta t_p$, donde $c3 = c1$. Se considera: distribución normal e incertidumbre tipo A.

4. La diferencia de tamaño de fuente de calibración del termómetro patrón y el de la superficie radiante.

$U(\delta t_4)$ fue considerado en la calibración del termómetro patrón y por lo tanto $U(\delta t_4) = 0$. Vale: $c4 = c1$. Se considera: distribución uniforme e incertidumbre tipo B.

5. El desconocimiento de la función espectral $\Phi_x(\lambda)$ del termómetro a calibrar.

$U(\delta t_5)$ se obtiene a partir de la diferencia entre los valores de temperatura de referencia calculados para una $\Phi_x(\lambda)$ de perfil Gaussiano (se obtiene t_{r1}) y otra de perfil triangular (se obtiene t_{r2}). $U(\delta t_5) = c5 \cdot |t_{r2} - t_{r1}|/2$, donde: $c5 = 1$. Se considera: distribución uniforme e incertidumbre tipo B.

6. La resolución del indicador de la fuente radiante.

$U(\delta t_6)$ se obtiene de la resolución (Δt_{resf}) del termómetro de la fuente. $U(\delta t_6) = c6 \cdot \Delta t_{resf}/2$, donde: $c6 = \partial(t_r - t_x)/\partial t_x = |-\partial t_x/\partial t_x| = 1$. Se considera: distribución uniforme e incertidumbre tipo B.

7. La repetibilidad de la indicación del termómetro de la fuente radiante.

$U(\delta t_7)$ es igual a la desviación estándar de las indicaciones del termómetro de la fuente. Vale: $c7 = c6 = 1$. Se considera: distribución normal e incertidumbre tipo A.

8. La estabilidad de la temperatura de la superficie radiante.

$U(\delta t_8)$ se obtiene de los valores de estabilidad (Δt_{esf}) de la fuente provistos por el fabricante. $U(\delta t_8) = c8 \cdot \Delta t_{esf}$, donde: $c8 = c6 = 1$. Se considera: distribución uniforme e incertidumbre tipo B.

9. La homogeneidad de la temperatura de superficie radiante.

$U(\delta t_9)$ se obtiene de los valores de uniformidad de temperatura (Δt_{unif}) de la superficie de la fuente provistos por el fabricante. Vale: $c9 = c6 = 1$. $U(\delta t_9) = c9 \cdot \Delta t_{unif}$. Se considera: distribución uniforme e incertidumbre tipo B.

PEC21: Agosto 2015

10. La emisividad de la superficie radiante.

Para el cálculo de la temperatura de radiancia resulta $U(\delta t_{10}) = 0$, dado que se asume que la superficie radiante fue calibrada con un termómetro del mismo tipo (8 a 14 μm) que el que se pretende calibrar con ella. En ese caso un error en la emisividad de la pintura de la superficie de la placa afecta a ambos termómetros por igual, cancelándose su efecto. Por ello, para este caso, la incertidumbre de emitancia de la superficie no aporta a la incertidumbre combinada. Otro es el caso de la incertidumbre de la temperatura de la superficie de la fuente para el cual la incertidumbre de la emitancia de la superficie interviene en su cálculo. Para este último caso, $U(\delta t_{10})$ se obtiene a partir de las diferencias máximas de los valores de emisividad ($\Delta\epsilon_x$) de pinturas comerciales de alta emisividad ($\Delta\epsilon_x \approx 0,02$). $U(\delta t_{10}) = c_{10} \cdot \Delta\epsilon_{\text{mip}}$. Se obtiene $c_{10} = |\partial(t_r - t_x)/\partial\epsilon| = |\partial t_r/\partial\epsilon_x|$. Finalmente c_{10} se calcula mediante la propagación de ϵ_x en la ecuación (1). Se considera: distribución uniforme e incertidumbre tipo B.

11. La temperatura ambiente.

$U(\delta t_{11})$ se obtiene de la incertidumbre de medición (Δt_{amb}) de la temperatura ambiente. $U(\delta t_{11}) = c_{11} \cdot \Delta t_{\text{amb}}$. Se obtiene $c_{11} = |\partial(t_r - t_x)/\partial t_{\text{amb}}| = |\partial t_r/\partial t_{\text{amb}}|$. Finalmente c_{11} se calcula mediante la propagación de t_{amb} en la ecuación (1). Se considera: distribución uniforme e incertidumbre tipo B.

12. La corrección $\Delta t_{px} = t_p - t_x$

Para datos crudos: $U(\delta t_{12}) = 0$. Para el caso en se provean datos ajustados a valores requeridos, en vez de datos crudos, se realizará para ello un ajuste de los valores de las diferencias ($t_p - t_x$) en función de los valores de t_p , mediante una curva obtenida por regresión. Para este caso: $U(\delta t_{12})$ se considera igual al error cuadrático medio del ajuste y $c_{12} = 1$. Se considera: distribución normal e incertidumbre tipo A.

Dentro de la plantilla de cálculo se hallan programados:

- La ecuación (1) para obtener $t_r = F(\epsilon_p, t_p, \epsilon_x, t_{\text{detp}}, t_{\text{amb}}, \lambda, \Delta\lambda)$
- Los coeficientes $c_i = c_w = |\partial t_r/\partial w|$, donde w es la magnitud cuya incertidumbre se considera fuente para el cálculo.
- Ejemplo: $c_{10} = c_{\epsilon x} = [F(\epsilon_p, t_p, \epsilon_x + \Delta\epsilon, t_{\text{detp}}, t_{\text{amb}}, \lambda, \Delta\lambda) - F(\epsilon_p, t_p, \epsilon_x, t_{\text{detp}}, t_{\text{amb}}, \lambda, \Delta\lambda)] / \Delta\epsilon$, con $\Delta\epsilon \ll \epsilon$.

Los valores e incertidumbre $U(\delta t_i)$ que se ingresan en la planilla de calculo corresponde a un factor (k) de cobertura = 1.

13. Ejemplos de cálculo de incertidumbre

En los apéndices 2 se presenta un ejemplo de cálculo de incertidumbre.

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 están referidos los valores indicados en el certificado.

Los valores de temperatura indicados por el termómetro de la fuente radiante.

Las correcciones correspondientes y sus respectivos valores de incertidumbre.

PEC21: Agosto 2015

Los resultados se entregan en una tabla que contiene, como mínimo, la información que se brinda en alguna las siguientes formas:

INDICACIÓN / (°C)	CORRECCIÓN / (°C)	INCERTIDUMBRE / (°C)

INDICACIÓN / (°C)	TEMPERATURA DE RADIANCIA / (°C)	INCERTIDUMBRE / (°C)

INDICACIÓN / (°C)	TEMPERATURA DE RADIANCIA / (°C)	INCERTIDUMBRE / (°C)	TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE / (°C)	INCERTIDUMBRE / (°C)

En el los apéndice 3 se presenta un ejemplo de certificado de calibración de una fuente radiante.

15. Registro de la calidad

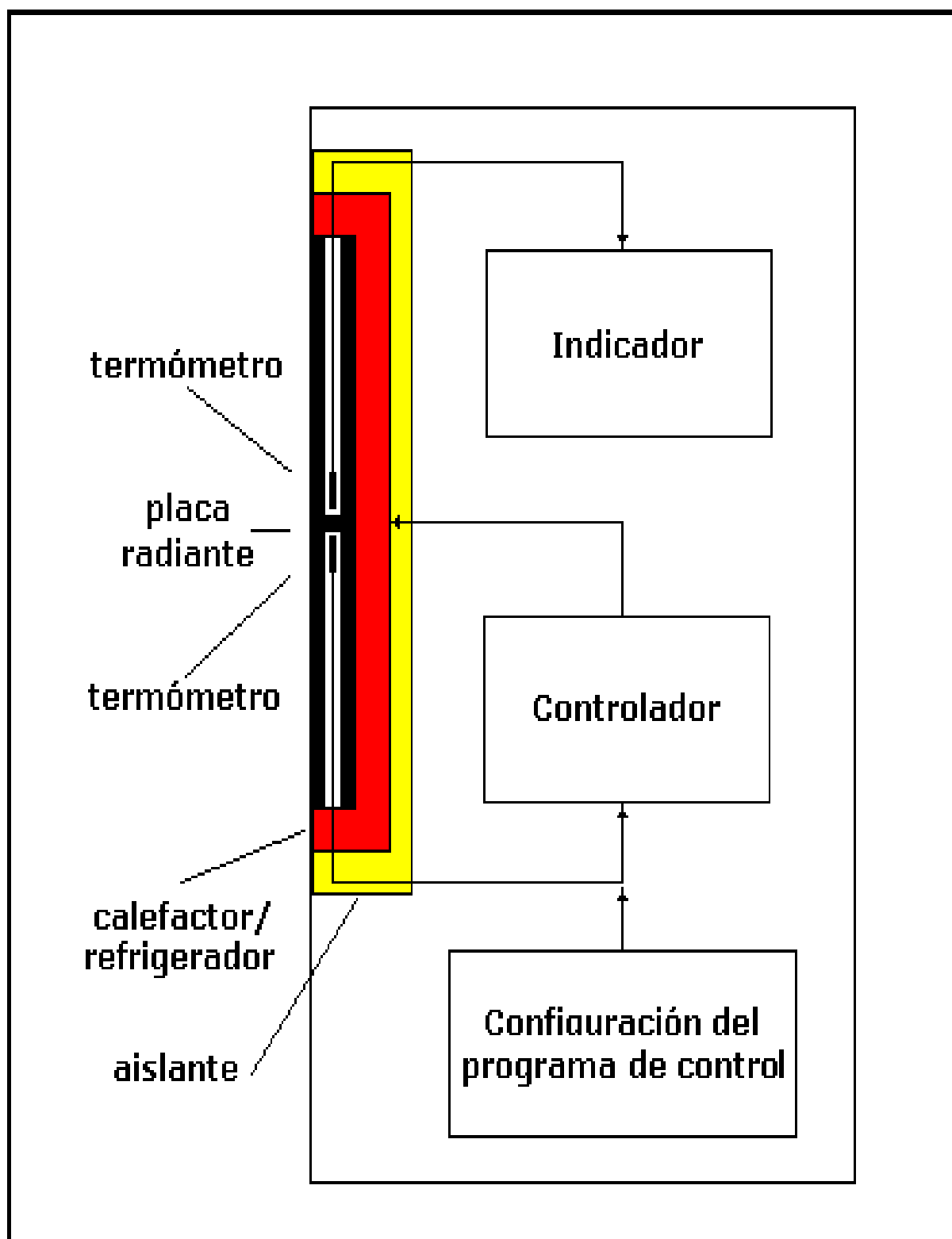
Se conservan registros manuscritos de las observaciones originales, copia de los certificados emitidos, como así también copia de la orden de trabajo, salida de elementos y demás documentación relacionada, de acuerdo con el Manual de la Calidad del INTI - Física y Metrología, Capítulo 11.

16. Apéndices

NÚMERO DE APÉNDICE	TÍTULO
1	Diagrama simplificado de una fuente radiante
2	Ejemplo de cálculo de incertidumbre ($t = 15\text{ °C}$)
3	Ejemplo de certificado de calibración

PEC21 Apéndice 1: Agosto 2015

Diagrama simplificado de una fuente radiante automática



PEC21 Apéndice 2: Agosto 2015

Ejemplo de cálculo de incertidumbre para $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

EMPRESA / CLIENTE	Termometría QQQ S.A.									
IDENTIFICACIÓN DEL SERVICIO	OT N°									
FECHA DE CALIBRACIÓN	19-Abr-13									

DATOS DE MEDICIÓN Y CÁLCULO					
Datos	Símb	Valor	Inc	Unidades	Observaciones
Fuente radiante		MZMZ calibrator			N° Serie
Tamaño de blanco	d_f	152,4		mm	
Emitancia de la fuente (para λ_p)	ϵ_f	0,95	0,02	1	
Indicación del termómetro de la fuente	t_x	15,48	0,01		
Termómetro patrón		WRWR-22			N° Serie
Longitud de onda del termómetro	$\lambda_p, \Delta\lambda_p$	11	6	um	
Emitancia instrumental	ϵ_p	1,00		1	
Tamaño de blanco teórico	d_{pt}	24		mm	
Diámetro cavidad utilizado en calibración propia	d_{pc}	40		mm	
Distancia fuente - termómetro	L	1,00		m	
Temperatura detector	t_{detp}	20,9		$^{\circ}\text{C}$	se asume igual a la t ambiente
Indicación termómetro (no corregida)	t_{pnc}	18,0	0,05	$^{\circ}\text{C}$	
Indicación del termómetro (corregida)	t_p	15,1		$^{\circ}\text{C}$	
Coefficientes ajuste (tp-tpnc) vs tpnc	A;B	-3,5258940	0,0357918		$T_p - T_{pnc} = A + B \cdot X + C \cdot X^2 + D \cdot X^3$, Table Curve file: IR-510_calibration.prn
Coefficientes ajuste (tp-tpnc) vs tpnc	C;D	-0,0001063	0,0000001		
Coefficientes curva de ETF	A;B	-148,33162	0,0089340		$\Sigma(d/m) = 1 - \text{EXP}(A/(d+B))$, Table Curve file: SSE0510B.prn
Datos de medición y cálculo					
Valor nominal de calibración	t_n	15		$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura de referencia	t_r	14,76		$^{\circ}\text{C}$	
Diferencia $\delta t_{rp} = t_r - t_p$	δt_{rp}	-0,32		$^{\circ}\text{C}$	
$S(tp)^{-1} \cdot dS/dT (\lambda_p, tp)$	$S^{-1} dS/dT$	1,619E-02		$^{\circ}\text{C}^{-1}$	
Diferencia de ETF = $\Delta \Sigma(d_1, d_2)$	$\Delta \Sigma$	-7,042E-04		1	
Utiliza regresión de datos (tp-tx) vs tx		0			0 : NO, 1 : SI
Qué incertidumbre calcula ?		0			0 : Inc temperatura radiancia, 1 : Inc temperatura superficie
Condiciones ambientales					
Temperatura ambiente (indicación original)	t_{amb}	20,7		$^{\circ}\text{C}$	termohigrómetro TFA radiación
Coefficientes de calibración (termómetro)	A;B	0,2002777	-8,447E-13		PCC FyM 102-089/2013
Temperatura ambiente (ind. corregida)	$t_{amb\ corr}$	20,9	0,4	$^{\circ}\text{C}$	$\Delta t_{amb} = A + B \cdot \exp(t_{amb})$ (en $^{\circ}\text{C}$), Table Curve: Termómetro TFA-RAD .prn
Humedad relativa ambiente	HRA	54		%	termohigrómetro TFA radiación
Coefficientes de calibración (higrómetro)	A;B				PCC FyM 102-089/2013
Humedad relativa ambiente (ind. corregida)	HRA_{corr}	55	5,0	%	$\Delta HRA(hra) = 0$ si $HRA < 44$, 1 otherwise
Termómetro a calibrar con la fuente (ejemplo)					
Longitud de onda del termómetro	λ_r	11	6		
Emitancia de la fuente (para λ_r)	ϵ_{xr}	0,95	0,02	1	
Emitancia instrumental	ϵ_{ir}	0,95			
Temperatura ambiente	t_{ar}	22,0		$^{\circ}\text{C}$	
Temperatura detector	t_{detr}	22,0			
Indicación del termómetro	t_r	14,8		$^{\circ}\text{C}$	

BALANCE DE INCERTIDUMBRES EN CALIBRACION														
Procedimiento: PEC99														
Calibración de: Fuente de radiación (temperatura de la fuente)														
Modelo asociado a la medición:														
$C = \Delta t_{rx} = \Delta t_{rp} + \Delta t_{px} + c_1 \cdot dt_1 + \dots + c_5 \cdot \delta t_5 + \dots + c_{10} \cdot \delta \epsilon_{10} + \dots + c_{12} \cdot \delta t_{12}$														
Fuente de incertidumbre	Símb	Valor estimado	Tipo	Dis	Intervalo (\pm)	Fac	u_i	v_i	c_i	%				
Resolución del termómetro patrón	δi_1	0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	0,05	$^{\circ}\text{C}$	1,7	0,0	$^{\circ}\text{C}$	50	1	1	0,3%
Corrección del termómetro patrón	δi_2	-2,9	$^{\circ}\text{C}$	BN	N	1,00	$^{\circ}\text{C}$	2,0	0,5	$^{\circ}\text{C}$	5	1	1	92,8%
Repetibilidad del termómetro patrón	δi_3	0	$^{\circ}\text{C}$	A1	N				0,05	$^{\circ}\text{C}$	5	1	1	0,9%
Diferencia por ETF del termómetro patrón	δi_4	0,0	$^{\circ}\text{C}$	A1	N				0,0E+00	$^{\circ}\text{C}$	5	1	1	0,0%
Respuesta espectral (plana, triangular, Gussiana)	δi_5	0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	0,01	$^{\circ}\text{C}$	1,7	0,01	$^{\circ}\text{C}$	50	1	1	0,0%
Resolución termómetro de la fuente	δi_6	0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	0,01	$^{\circ}\text{C}$	1,7	0,00	$^{\circ}\text{C}$	50	1	1	0,0%
Repetibilidad termómetro de la fuente	δi_7	0	$^{\circ}\text{C}$	A1	N				0,01	$^{\circ}\text{C}$	5	1	1	0,0%
Estabilidad de la fuente	δi_8	0	$^{\circ}\text{C}$	BN	N	0,10	$^{\circ}\text{C}$	2,0	0,05	$^{\circ}\text{C}$	50	1	1	0,9%
Homogeneidad de la fuente	δi_9	0	$^{\circ}\text{C}$	BR	R	0,20	$^{\circ}\text{C}$	1,7	0,12	$^{\circ}\text{C}$	50	1	1	5,0%
Emitancia de la fuente	$\delta \epsilon_{10}$	0	1	BR	R	0,00	1	1,7	0,0E+00		50	6,4	$^{\circ}\text{C}/1$	0,0%
Temperatura ambiente	δi_{11}	0	$^{\circ}\text{C}$	A1	N				2,2E-02	$^{\circ}\text{C}$	5	0	1	0,0%
$\Delta t_{px} = (t_p - t_x)$	δi_{12}	-0,4	$^{\circ}\text{C}$	A1	N				0,0	$^{\circ}\text{C}$	5	1	1	0,0%
Corrección = $\Delta t_{rx} = t_r - t_x$		-0,7	$^{\circ}\text{C}$		N	1,3E+00	$^{\circ}\text{C}$	2,6	5,2E-01	$^{\circ}\text{C}$	6			100%
C =		-0,7	$^{\circ}\text{C}$	U =		1,3	$^{\circ}\text{C}$	$t_x =$		15,5	$^{\circ}\text{C}$			

PEC21 Apéndice 3: Agosto 2015

Ejemplo de Certificado de Calibración

Certificado de calibración / medición

RUT N° FM-102- Único
N° de páginas del certificado: 3

Objeto Una fuente radiante para la calibración de termómetros de radiación infrarroja.

Fabricante / Marca Fab/Marc

Modelo/Número de serie Mod/Ser

Determinaciones requeridas Calibración en valores próximos a 15° C, 30°C, 50°C, 70°C, 90°C y 115° C.

Fecha de calibración / medición Abril de 2013.

Solicitante aaaaaaaaaa
bbbbbbbbbb
cccccccccc
República Argentina

Buenos Aires, 29 de abril de 2013.

PEC21 Apéndice 3: Agosto 2015

RUT N° FM-102- Único
Página 2**Metodología empleada**

Se determinó la temperatura de la superficie y la temperatura de radiancia de la fuente, por comparación con un termómetro de radiación infrarroja, utilizado como patrón secundario.

Condiciones de referencia/calibración

Termómetro utilizado para calibrar la fuente:

- Marca/Modelo:
- Intervalo espectral: 8 a 14 μm
- Emisividad instrumental: 1,00
- Campo de medición: círculo de mm de diámetro centrado con la superficie radiante.

Fuente radiante:

- Superficie: cuerpo gris en el intervalo espectral mencionado.
- Emisividad de la superficie = $0,95 \pm 0,02$. Ref.:
- Emisividad instrumental = 0,95
- Constantes de calibración: (1) = x,xx, (2) = y,yy, (3) = z,zz
- Constantes de control: banda proporcional = , integración = , derivación =

Termómetro a calibrar:

- Magnitud: temperatura de radiancia para emisividad instrumental = 0,95 y 1,00.
- Respuesta espectral: neutra.
- Temperatura del detector = 22 °C

Condiciones ambientales

20 °C \leq temperatura \leq 24 °C.

50 % < humedad relativa < 60 %

Resultados

Indicación [°C]	Temperatura de radiancia [°C]		Incertidumbre [°C]	Temperatura (superficie de la fuente) [°C]	Incertidumbre [°C]
	$\epsilon_i = 0,95$	$\epsilon_i = 1,00$			
15,5	14,8	15,1	1,3	14,8	1,3
31,5	30,7	30,3	1,3	30,7	1,3
51,5	51,0	49,7	1,3	51,0	1,3
72,0	72,0	69,9	1,3	72,0	1,5
92,0	92,5	89,6	1,3	92,5	1,7
119,0	119,0	115,3	1,6	119,0	2,3

Observaciones

Los valores de temperatura informados, corresponden a la Temperatura Celsius Internacional (t_{90}), según la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (Ref.: "Metrología" 27, 3-10, 1990).

Los valores de incertidumbre de medición expandida que se informan, fueron calculados 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. Estos valores no contienen aportes debido a la estabilidad de la emisividad de la superficie de la fuente a largo plazo, ni debido a la posible dependencia de ella con la temperatura.

El usuario es responsable de la calibración del objeto a intervalos apropiados.

PEC21 Apéndice 3: Agosto 2015

RUT N° FM-102-xxxx Único
Página 3

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
fisicaymetrologia@inti.gov.ar · electronicaeyinformatica@inti.gov.ar · mecanica@inti.gov.ar
Colectora de Av. Gral. Paz 5445, c/ 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 Sarsfield 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.