

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

PIROMETROS DE RADIACION TOTAL [OIML D 24: 1996, IDT]

Total radiation pyrometers

ICS: 17.200.20

1. Edición

Marzo 2002

REPRODUCCION PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana.
Teléf.: 830-0835 Fax: (537) 33-8048 E-mail: nc@ncnorma.cu

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La preparación de las Normas Cubanas se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. La aprobación de las Normas Cubanas es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en evidencias de consenso.

Esta norma:

- Ha sido elaborada por el NC/CTN – 2 de Metrología, en el que están representadas las siguientes instituciones:

Ministerio de la Industria Alimenticia
Ministerio del Azúcar
Ministerio de la Industria Sideromecánica
Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría”
Oficina Territorial de Normalización de Villa Clara
Instituto Nacional de Investigaciones de Metrología
Oficina Nacional de Normalización.

- Es idéntica a la Norma Internacional OIML D 24 Total radiation pyrometers, edición 1996.
- Las referencias normativas que aparecen en el texto con respecto a la norma OIML se sustituyen por las relativas a las Normas Cubanas que correspondan con dichas normas, en los casos en que éstas existan.

© NC, 2002

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada por alguna forma o medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias o microfilmes, sin el permiso previo escrito de:

**Oficina Nacional de Normalización (NC).
Calle E No. 261 Ciudad de La Habana, Habana 3. Cuba.**

Impreso en Cuba

Indice

1 Alcance y campo de aplicación 1

2 Unidades de medición..... 1

3 Características técnicas y metrológicas de los pirómetros de radiación total.....2

4 Características técnicas y metrológicas del equipo de calibración.....3

5 Calibración de los pirómetros de radiación total4

6 Control metrológico8

PIROMETROS DE RADIACION TOTAL

1 Alcance y campo de aplicación

1.1 Este Documento Internacional se aplica a los pirómetros de radiación total que miden la temperatura de radiación haciendo uso de la relación entre la radiación de la fuente, integrada sobre la mayor parte del espectro de la radiación termal, y su temperatura.

1.2 Este Documento está diseñado para:

- asegurar que los pirómetros de radiación total den lecturas correctas (dentro de los límites de los errores permisibles) cuando se mide la temperatura de un cuerpo negro;
- especificar los medios y condiciones para la calibración de los pirómetros de radiación total con un grado dado de exactitud y confiabilidad.

1.3 Este Documento especifica para los pirómetros de radiación total:

- unidades de medición,
- características técnicas generales,
- características del equipamiento auxiliar usado para la calibración,
- métodos básicos utilizados para asegurar la uniformidad de la calibración,
- requisitos básicos para la calibración.

1.4 El uso de otros métodos de verificación y calibración para los pirómetros de radiación total es permitido, siempre que esos métodos aseguren la misma exactitud especificada en este Documento.

1.5 Este Documento se aplica a los pirómetros de radiación total graduados en unidades de temperatura, y a sensores de estos pirómetros¹. También se aplica a pirómetros que dan un valor de una señal eléctrica como salida, y que están provistos con datos u otros medios para convertir dicho valor en una indicación de temperatura.

2 Unidades de medición

2.1 Los pirómetros deben ser calibrados en correspondencia con la Escala Internacional de Temperatura de 1990. La temperatura debe ser expresada en grados Celsius (°C), o en kelvin (K).

2.2 Los pirómetros no deben dar una lectura de temperatura directa dado que para los pirómetros de este tipo, la relación entre la señal de salida y la temperatura medida está indicada (tabla, curva de calibración, etc.). La relación indicada puede ser individual (válida para un instrumento particular), o normalizada (válida para todos los instrumentos de un tipo dado).

¹ Un pirómetro de radiación total generalmente comprende dos partes: un sensor (sistema óptico y detector) que da una señal eléctrica proporcional al flujo de radiación térmica recibida, y una unidad secundaria que convierte la señal de salida del sensor en lecturas de temperatura.

2.3 La indicación del instrumento (resultado de la medición de temperatura) puede ser o una lectura directa en una escala o monitor en unidades de temperatura, o el resultado de un cálculo de la temperatura usando una curva o tabla de calibración.

3 Características técnicas y metrológicas de los pirómetros de radiación total

3.1 Los pirómetros de radiación total se caracterizan por los siguientes parámetros básicos:

- rango de medición
- error intrínseco
- repetibilidad
- distancia objetivo y dimensión del área objetivo
- abertura nominal objetivo y distancia nominal
- tiempo de respuesta
- temperatura ambiental normal de operación y límites de temperatura ambiental de operación.

3.1.1 El error intrínseco caracteriza la exactitud del instrumento. Este error es igual a la diferencia entre el valor medio de un número suficiente de indicaciones dadas por el pirómetro, bajo condiciones de referencia (ver 3.2) cuando se mide la temperatura de un cuerpo negro a temperatura constante, y un valor convencionalmente verdadero de la temperatura del ese cuerpo.

3.1.2 La repetibilidad caracteriza la dispersión de indicaciones individuales en mediciones repetidas de la misma temperatura.

3.1.3 La distancia objetivo es la distancia entre la fuente de radiación y el sistema óptico del pirómetro de radiación total. Esta distancia puede ser medida desde otro punto, indicada en un documento adjunto.

3.1.4 El área objetivo es aquella parte de un plano perpendicular al eje óptico en la distancia objetivo, cuya imagen sólo cubre el detector del pirómetro (o el diafragma de campo, si hay alguno). El diámetro del área objetivo determina las dimensiones mínimas de un objeto cuya temperatura puede ser medida por el pirómetro dentro de los límites de los errores permisibles.

3.1.5 La abertura objetivo es la relación del diámetro del área objetivo respecto a la distancia objetivo.

3.1.6 La abertura nominal objetivo n es una abertura objetivo para una distancia objetivo específica L tal que la temperatura de una fuente de radiación con el diámetro $D = n \times L$ puede ser exactamente medida. La abertura nominal objetivo es usualmente fijada para una distancia de 1 m. Sin embargo, el instrumento puede ser colocado para otras distancias objetivo dado que estas distancias son indicadas en los documentos adjuntos.

3.1.7 El tiempo de respuesta es el tiempo tomado por el pirómetro de radiación total, siguiendo un cambio abrupto ΔT de la fuente de temperatura para provocar un cambio $\eta \Delta T$ en la indicación del pirómetro, donde η es el valor dado en la especificación del pirómetro.

3.1.8 La temperatura de operación de referencia es la temperatura de la caja del pirómetro a la cual está determinado el error intrínseco del pirómetro. En todas las otras temperaturas el error to-

tal del pirómetro es la suma del error intrínseco y el error complementario debido a la influencia del cambio en la temperatura ambiental.

3.2 El error intrínseco debe ser determinado bajo las siguientes condiciones de referencia:

- el objeto cuya temperatura es medida es una fuente de radiación del tipo de cuerpo negro,
- la distancia objetivo es 1 m como se indica en 3.1.6,
- el diámetro de la fuente de radiación es $n \times 1$ m, donde n es la abertura nominal,
- la temperatura ambiental se mantiene en el valor de referencia, por ejemplo $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$,
- la humedad relativa del aire ambiental no debe exceder el 80 %.

3.3 El error intrínseco de un pirómetro de radiación total puede ser dado por otras condiciones, es decir, para otros valores de distancias objetivo, diámetro de la fuente, temperatura ambiental y humedad, siempre que las condiciones se indiquen en el documento adjunto. Para otros valores de las condiciones de operación, serán dados los errores complementarios causados por la diferencia entre las condiciones actuales de operación y las condiciones de referencia.

3.4 Los errores intrínsecos y los errores complementarios para los pirómetros de radiación total se pueden expresar en °C (o K) o en magnitudes relativas. Sin embargo, esto debe ser hecho de tal manera que el error en °C (o K) puede ser determinado para cada temperatura medida.

4 Características técnicas y metrológicas del equipo de calibración

4.1 Características técnicas y metrológicas de las fuentes de radiación

4.1.1 Para la calibración de los pirómetros de radiación total, se utilizan fuentes de radiación del tipo de cuerpo negro con aberturas mayores (usualmente, dos veces mayor) que el campo visual del pirómetro.

4.1.2 Estas fuentes deben cumplir los siguientes requisitos.

4.1.2.1 La emisividad² no será menor que 0,99.

4.1.2.2 La emisividad total efectiva³ será al menos 0,99, y no mayor que 1.01.

4.1.2.3 La fuente debe tener un medio para medir y ajustar la temperatura de sus superficies para cumplir los requisitos del punto 4.1.2.2.

4.2 Características técnicas y metrológicas de los instrumentos de medición patrones y equipos de calibración

² Relación de la radiancia de una fuente isotérmica a la radiancia de un cuerpo negro perfecto teniendo la misma temperatura que la fuente.

³ Relación entre la radiancia de una fuente no isotérmica y la radiancia de un cuerpo negro ideal cuya temperatura es la indicada por un instrumento patrón que mide la temperatura de la fuente.

4.2.1 Los termómetros de mercurio en vidrio, termómetros de resistencia, termopares o pirómetros ópticos se pueden usar como instrumentos patrones para medir la temperatura de la fuente de radiación (en dependencia del rango de temperatura).

4.2.2 Los errores de los instrumentos patrones no deben ser mayores de:

0,1 °C	por debajo de	200 °C
0,2 °C	desde 200 °C hasta	300 °C
0,5 °C	desde 300 °C hasta	600 °C
3,0 °C	desde 600 °C hasta	1 100 °C
7,0 °C	desde 1 100 °C hasta	2 000 °C
16,0 °C	desde 2 000 °C hasta	2 800 °C

4.2.3 El equipo utilizado para medir las magnitudes eléctricas (voltaje, resistencia, etc.) que son señales de salida de termómetros patrones (pirómetros), debe cumplir con los requisitos de exactitud correspondientes para los valores indicados en 4.2.2.

4.2.4 El equipo utilizado para medir las señales de salida de pirómetros que no tienen escalas graduadas en °C ó K debe ser capaz de medir las señales de salida con un error (cuando se convierta a temperatura) que no exceda un décimo del error máximo permisible del pirómetro de radiación total a calibrar.

4.2.5 Para variar la temperatura de la caja del pirómetro bajo calibración, es aconsejable utilizar los accesorios protectores de la cabeza del pirómetro (tal como una camiseta de agua) a través de la cual circula el agua, calentada o enfriada para la temperatura requerida.

El termostato para controlar la temperatura del agua que circula en la camiseta de agua, debe mantener estable la temperatura del agua dentro 0,4 °C.

5. Calibración de los pirómetros de radiación total

5.1 Procedimiento

5.1.1 El error intrínseco de un pirómetro de radiación total se determina midiendo la temperatura de una fuente de radiación del tipo cuerpo negro con el pirómetro dado, y el valor convencionalmente verdadero de esa temperatura utilizando un instrumento patrón, como se menciona en 4.2.1.

5.1.2 La conformidad del pirómetro con todos los otros requisitos puede ser simultánea o separadamente comprobada con la determinación del error intrínseco. Los radiadores cuya emisividad es menor que 0,99 pueden ser utilizados para ensayos relacionados con estos otros requisitos.

5.2 Preparación para la calibración

5.2.1 El pirómetro de radiación total a calibrar debe ser colocado a una distancia de 1,00 m \pm 0,02 m de la abertura del radiador, la cual debe estar protegida por un diafragma desmontable de metal pulido. El diámetro de la abertura debe ser igual a la abertura objetivo nominal multiplicada por 1 m. Si la distancia objetivo indicada en la documentación técnica difiere de 1 m, el

pirómetro debe ser colocado a la distancia especificada y debe seleccionarse un diámetro de diafragma apropiado.

5.2.2 El pirómetro debe ser colocado de forma tal que su eje óptico pase a través del centro del diafragma.

5.2.3 Si el pirómetro está provisto con medios para ajustar las indicaciones de temperatura para superficies medidas con emisividades ε por debajo de 1, este ajuste debe ser establecido para la posición $\alpha = 1$ durante el proceso de calibración.

5.3 Determinación del error intrínseco

5.3.1 El error intrínseco debe ser determinado a las temperaturas del cuerpo negro dadas en la segunda columna de la Tabla 1 y las cuales se encuentran dentro del rango de calibración.

Tabla 1

Rango de temperatura (°C)	Temperaturas del cuerpo negro (°C)	Desviación permisible de la temperatura de calibración ⁴ (°C)	Razón de cambio permisible de la temperatura de la fuente (°C)
20 a 150	50, 100, 150	± 5	0,01
150 a 600	200, 300, 400, 500, 600	± 5	0,02
>600	800, 1 000, 1 200 1 400, 1 600, 1800 2 000, 2 200	±10	0,05

Si menos de tres de las temperaturas indicadas en la Tabla 1 caen dentro del rango de medición completo del pirómetro a verificar, el error intrínseco debe ser determinado en tres temperaturas del cuerpo negro: para el valor más bajo, medio y más alto del rango de calibración.

5.3.2 El error intrínseco debe primero ser determinado a la temperatura lo más cercana posible al extremo más bajo del rango de medición; la temperatura debe ser seleccionada según el punto 5.3.1.

5.3.3 La temperatura de la fuente no debe diferir de la temperatura requerida en más de la cantidad indicada en la tercera columna de la Tabla 1, y la razón de cambio de la temperatura no debe exceder lo especificado en la última columna de la Tabla 1.

5.3.4 La temperatura de la fuente de radiación t_0 debe ser medida como mínimo cinco veces, y se deben tomar alternativamente al menos cuatro lecturas de temperatura t del pirómetro. Los valores medios de la temperatura de la fuente de radiación \bar{t}_0 y la lectura del pirómetro \bar{t} deben ser calculados, y el valor intrínseco del pirómetro debe ser determinado a partir de:

⁴ Desviación de la temperatura de calibración según lo especificado en la segunda columna; ver 4.2.2 concerniente a la exactitud de la medición de las temperaturas del cuerpo negro.

$$\Delta t = \bar{t} - \bar{t}_0$$

NOTA: Para instrumentos que no estén provistos con un dispositivo indicador graduado en unidades de temperatura, la calibración inicial es utilizada para establecer la relación $x = f(t_0)$ donde x es un parámetro de salida. La diferencia Δt se puede entonces aplicar a la recalibración (verificación).

5.3.5 Las operaciones indicadas en 5.3.3 y 5.3.4 deben ser realizadas a todas las temperaturas en las cuales el pirómetro va a ser calibrado de acuerdo con 5.3.1.

5.4 Determinación de la repetibilidad

5.4.1 La repetibilidad debe ser determinada en tres temperaturas, correspondientes a los valores inferiores, medios y superiores del rango de temperatura del pirómetro. Estas temperaturas deben ser seleccionadas de acuerdo con 5.3.1.

5.4.2 Para determinar la repetibilidad se deben tomar alternativamente once mediciones de temperatura de la fuente de radiación t_0 y diez de las lecturas del pirómetro t .

5.4.3 La diferencia para cada lectura del pirómetro t_i se calcula a partir de:

$$\delta_i = t_i - 1/2(t_{0,i} + t_{0,i+1}) \quad (i = 1, 2, \dots, 10)$$

donde $t_{0,i}$ y $t_{0,i+1}$ son las temperaturas de la fuente, medidas directamente antes y después de la lectura t_i .

5.4.4 La desviación típica debe ser entonces calculada, utilizando el valor obtenido, a partir de la fórmula:

$$\sigma = 1/3 \left[\sum_{i=1}^{i=10} (\delta_i - \bar{\delta})^2 \right]^{1/2}$$

donde $\bar{\delta}$ es el valor medio de δ_i .

5.5 Determinación de la influencia de un incremento de la dimensión objetivo

5.5.1 Para la determinación de la influencia de un cambio en la dimensión objetivo, se debe utilizar una fuente de radiación para la cual el diámetro de apertura no sea menor que 1,5 veces el diámetro del área objetivo del pirómetro definida según 3.1.4.

5.5.2 El pirómetro debe ser colocado frente a la fuente de radiación tal como se especifica en 5.2.1 y 5.2.2.

5.5.3 Cuando se procede como en 5.3.3, la fuente de radiación debe ser puesta a trabajar a la más alta temperatura de las series 100, 200, 300, 600, 800, 1 200, 1 400, 1 600, 1800, 2 000 °C la cual cae dentro del rango de medición del pirómetro y dentro del rango de trabajo de la instalación utilizada para la calibración.

5.5.4 Después de tomar la lectura del pirómetro t_1 (habiendo medido primeramente la temperatura de la fuente del cuerpo negro), el diafragma que limita el diámetro de la cavidad de salida debe ser rápidamente retirado y se debe tomar una nueva lectura t_2 en el pirómetro sometido a calibración.

5.5.5 La diferencia $t_2 - t_1$ determina la influencia causada por un incremento en la dimensión de la fuente de radiación.

5.6 Determinación del tiempo de respuesta

5.6.1 El pirómetro de radiación total debe ser colocado frente a la fuente de radiación y llevar a cabo el procedimiento descrito en 5.2.1 y 5.2.2.

La salida del pirómetro debe ser acoplada a un registrador automático cuyo tiempo constante no exceda 0,1 del tiempo constante del pirómetro bajo calibración. La temperatura de la fuente de radiación debe ser seleccionada como se indica en 5.5.3.

5.6.2 El flujo de radiación térmica emitido por la fuente de radiación que cae sobre la entrada del pirómetro de ser interrumpido completamente por medio de una pantalla opaca. La pantalla debe ser retirada rápidamente diez minutos después. Antes de retirar la pantalla, el valor final de la lectura del pirómetro, V_0 debe ser determinado desde la señal de salida registrada.

5.6.3 El valor final de la lectura del pirómetro sin la pantalla, V_1 , se determina desde la señal de salida registrada. Las temperaturas t_1 y t_0 correspondientes a V_1 y V_0 y $t_2 = \eta(t_1 - t_0) + t_0$ que corresponde a la señal de salida V_2 se calcula de acuerdo con la tabla o curva de calibración.

5.6.4 El tiempo τ entre la abertura de la entrada al pirómetro y el momento cuando la señal de salida alcance el valor V_2 , se determina desde la señal de salida registrada. τ es el tiempo de respuesta del pirómetro.

5.6.5 Si el pirómetro está provisto con un dispositivo indicador graduado en unidades de temperatura, el procedimiento para determinar el tiempo de respuesta debe ser como sigue.

5.6.5.1 El flujo de radiación térmica emitido por la fuente de radiación y que cae a la entrada del pirómetro debe ser eliminado completamente por medio de una pantalla opaca. La pantalla debe ser retirada diez minutos más tarde. Antes de retirar la pantalla, debe ser determinado el valor final de la lectura del pirómetro t_0 .

5.6.5.2 Con la entrada del pirómetro abierta, se determina la lectura estabilizada t_1 , después de lo cual se calcula $t_2 = \eta(t_1 - t_0) + t_0$.

5.6.5.3 La entrada del pirómetro se cierra por diez minutos y entonces se abre abruptamente; al mismo tiempo un cronómetro comienza a funcionar para medir el tiempo de respuesta τ necesario para obtener una indicación de temperatura de t_2 .

5.7 Determinación de la influencia causada por un cambio en la temperatura ambiental de operación del sensor del pirómetro

5.7.1 El sensor del pirómetro de radiación total con accesorios protectores (camiseta de agua), debe ser colocado frente a la fuente de radiación como se indica en 5.2.1 y 5.2.2.

5.7.2 La fuente de radiación debe ser fijada a la temperatura seleccionada como se plantea en el punto 5.5.3.

5.7.3 El agua se hará circular en el sistema de protección a la temperatura normal de operación $t_k \pm 0,5$ °C, y el sensor del pirómetro debe ser calentado al menos durante 30 minutos.

5.7.4 Cuando se ha completado el procedimiento descrito en 5.3.3 y 5.3.4, se determina el error a la temperatura normal de operación de la caja del sensor t_k .

5.7.5 El procedimiento anterior debe ser repetido a otras temperaturas del agua cuyos valores sean múltiplos de 10 °C y los cuales caen dentro del rango de temperatura ambiental indicado en el documento adjunto.

5.7.6 La diferencia entre los errores obtenidos a estas otras temperaturas y t_k determina la influencia causada por un cambio en la temperatura ambiental.

5.7.7 La influencia del cambio en la temperatura ambiental que atañen a las unidades secundarias del pirómetro, separadas de la unidad del sensor, debe ser determinada utilizando métodos normalizados para ensayar los instrumentos de medición eléctricos. Una señal eléctrica correspondiente a la temperatura indicada en 5.5.3 debe ser aplicada a la entrada de la unidad secundaria.

6. Control metrológico

6.1 Los pirómetros de radiación total deben ser calibrados y verificados utilizando fuentes de radiación que cumplan con los requisitos establecidos en 4.1.1 y 4.1.2 e instrumentos patrones que cumplan con los requisitos especificados en 4.2.2.

6.2 Si el sensor del pirómetro de radiación total está separado del dispositivo secundario de medición eléctrico y está provisto con una tabla o una curva diferente de calibración, el sensor y el dispositivo secundario deben ser calibrados independientemente. El sensor del pirómetro debe, en este caso, ser verificado de acuerdo con los requisitos de este Documento. El dispositivo secundario de medición debe ser calibrado como un instrumento de medición eléctrico. Los valores de las señales eléctricas dados en la tabla de calibración para el sensor a las temperaturas indicadas en la Tabla 1 deben ser aplicados a la entrada del dispositivo secundario.

El error intrínseco debe ser la suma del error intrínseco del sensor y el error intrínseco del dispositivo de medición eléctrico.

La repetibilidad debe ser calculada como la raíz cuadrada de la suma del cuadrado de la desviación típica del sensor y el cuadrado de la desviación típica del dispositivo de medición eléctrico.

6.3 Los resultados de las calibraciones llevadas a cabo de acuerdo con los requisitos de este Documento deben ser confirmados por un certificado y por una marca en el pirómetro que indique la emisión de dicho certificado.