

Calibración de temperatura infrarroja

Utilizar la herramienta correcta significa trabajar mejor y aumentar la productividad

Nota de aplicación



Los termómetros de infrarrojos permiten medir la temperatura de una superficie distante sin necesidad de estar en contacto físicamente. Apuntar y disparar al elemento de medida para medir su temperatura puede parecer magia a simple vista. Esta nota de aplicación desmitifica la termografía infrarroja (o "IR") y explica porque la calibración con regularidad es importante para maximizar el valor de estos equipos tan útiles.

Como miden temperatura los termómetros de infrarrojos

Los termómetros de infrarrojos miden la **radiación electromagnética** emitida por un objeto como resultado de su temperatura. Cuando un objeto alcanza temperaturas elevadas, la mayor parte de su radiación es una banda de longitudes de onda llamada espectro infrarrojo. Los objetos muy calientes emiten una luz visible que es también una forma de radiación electromagnética. Mientras que el ojo humano es muy sensible a la luz amarilla con longitudes de onda de en torno a $0.555 \mu\text{m}$, no puede detectar luz con longitudes de onda mayores de $0.700 \mu\text{m}$ (roja) ni menores de $0.400 \mu\text{m}$ (violeta). Aunque nuestros ojos no puedan detectar la energía fuera de esa banda tan estrecha de longitudes de onda llamada espectro visible, nosotros sabemos que está ahí porque la podemos detectar con un **radiómetro**.

"Ver" la temperatura

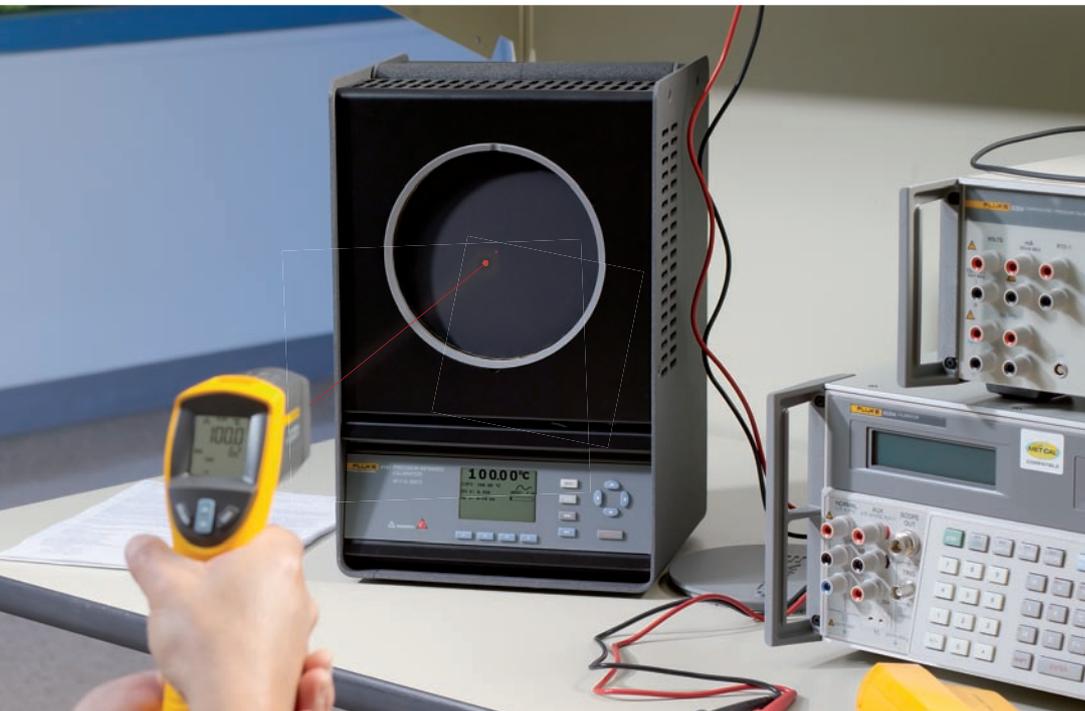
Tenemos algo de experiencia en la medida de temperatura mediante la detección de la radiación electromagnética con nuestros ojos. Estamos familiarizados con cosas que "radian calor", tales como el

resplandor incandescente de las brasas de un fuego. El color que percibimos está relacionado con la temperatura del objeto caliente. De hecho, los trabajadores de las acereras aseguran que pueden saber con exactitud la temperatura del acero fundido con un margen de error de 50°C basándose únicamente en su color. De la misma manera que los ojos de los trabajadores de las acereras, los termómetros de infrarrojos están diseñados para ser sensibles dentro de una banda específica de **longitudes de onda**. La **banda espectral** más utilizada en los termómetros de infrarrojos es la que va de $8\mu\text{m}$ a $14\mu\text{m}$ (8 a 14 micrómetros).

La radiación infrarroja es radiación electromagnética con longitudes de onda mayores que la luz visible y más pequeñas que la radiación de onda milimétrica. Términos como longitud de onda y amplitud son utilizados para describir los infrarrojos y otros tipos de radiación electromagnética. Por ejemplo, la amplitud de onda describe la intensidad de la radiación electromagnética y la longitud de onda es utilizada entre otras cosas para determinar si es una microonda, luz visible o radiación infrarroja.

¿Cómo de pequeño es un micrómetro?

Un micrómetro es muy pequeño; de hecho, es la millonésima parte de un metro. Por poner un ejemplo 100 micrómetros serían equivalentes al grosor de un cabello humano.



La calibración es muy sencilla con los calibradores de Infrarrojos de la serie 4180

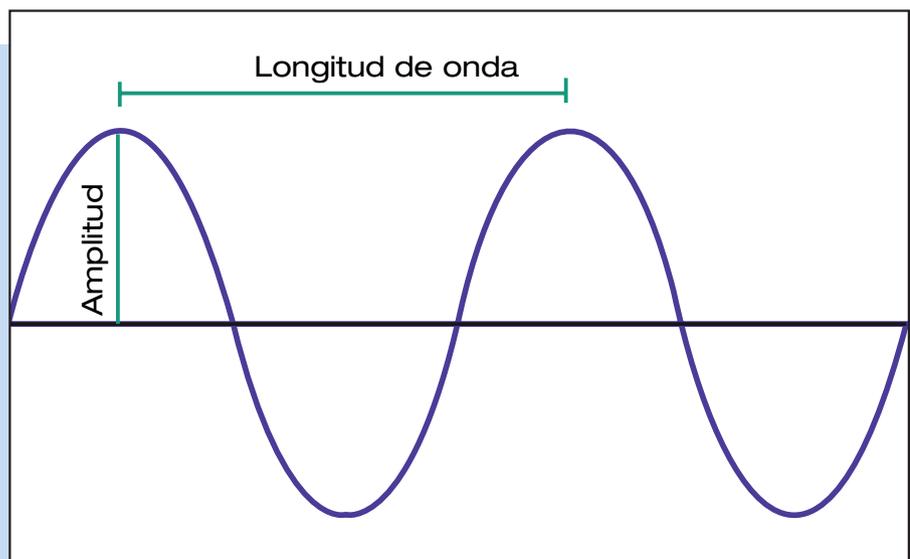
Fuente de calor para la calibración de temperatura infrarroja

A pesar de nuestra experiencia con la medida de la temperatura, la confianza en las medidas de IR requiere normalmente del uso de instrumentos calibrados. La calibración puede ser definida como el conjunto de operaciones llevadas a cabo de acuerdo con un procedimiento de calibración definido, que compara las medidas realizadas por un instrumento con otras realizadas con un instrumento de mayor exactitud o patrón, con el propósito de detectar e informar, o eliminar por ajuste los errores en el instrumento que se está calibrando. Una calibración de temperatura IR comienza con una medida superficial de lo que actúa como fuente de calor, que debe ser un plato plano o una cavidad que funciona como patrón o referencia. La geometría de calibración, que incluye el tamaño de la superficie de medida y la distancia del termómetro a calibrar juega un papel fundamental en el resultado de la medida. También son críticas la estabilidad de la temperatura, la **uniformidad** y las propiedades físicas de la superficie emisora como es la emisividad.

Convertir la temperatura en radiación

La superficie de medida de un calibrador actúa como un transductor convirtiendo la energía térmica en radiación térmica. La intensidad de la radiación infrarroja emitida por la superficie de medida es medida por el termómetro infrarrojo para calcular la temperatura. La medida de temperatura en la superficie es análoga al sensor de una termoresistencia que traduce la energía térmica en resistencia que es

medida por un termómetro para calcular la temperatura. Es interesante tener en cuenta que el sensor es el responsable de la mayoría de los errores en la medida de temperatura, lo que explica la importancia de calibrar los sensores de temperatura. Una de esas fuentes de error en la medida de la temperatura superficial y quizá la mayor en la calibración de temperatura infrarroja es la **emisividad**.



La uniformidad de la temperatura es importante en las calibraciones de termómetros de infrarrojos e imágenes térmicas.

Emisividad

La energía radiante proveniente de una superficie **opaca** es una combinación de la **radiancia** emitida causada por la temperatura de la superficie y la radiancia reflejada proveniente de cualquier lugar en el ambiente. La **transmisión** a través del objeto es otra fuente de energía radiante que debe ser considerada cuando los

superficie y la emitida por un **cuerpo negro** a la misma temperatura. La emisividad se ve enormemente afectada por el tipo de material de la superficie y el acabado de la misma. Los metales con superficies lisas tienden a tener una baja emisividad y una alta reflectividad mientras que los orificios estrechos y profundos tienen una alta emisividad y muy baja reflectividad. La suma de emisividad, reflectividad, y transmisividad es siempre igual a uno. Los calibradores de temperatura infrarroja deben ser diseñados

para tener una emisividad conocida, que debe permanecer constante a lo largo del tiempo. Desafortunadamente la emisividad es omitida en la mayoría de los calibradores de IR. Estos calibradores se suelen

Emisividad, cuerpos negros y cuerpos grises

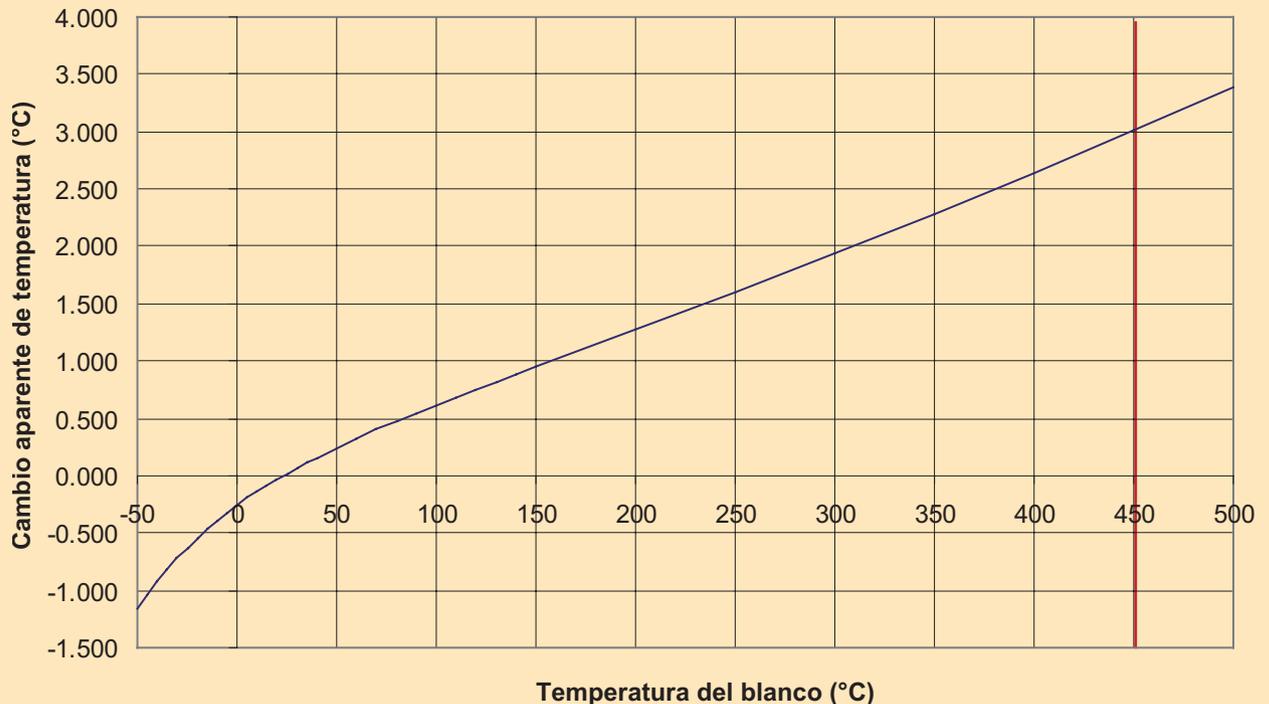
La emisividad puede ser cualquier valor entre cero y uno, ambos incluidos. Emisividad cero indica que no importa cual sea la temperatura del cuerpo, ya que nada de luz será radiada. Una emisividad de uno indica que la superficie radiará perfectamente a todas las longitudes de onda. Los científicos dieron el nombre de "cuerpo negro" a esos objetos perfectamente radiantes. Los objetos con emisividad muy próxima a uno se llaman habitualmente cuerpos negros. Un calibrador con una superficie plana y una emisividad de en torno a 0.95 se suele llamar cuerpo gris si la emisividad es uniforme para todas las longitudes de onda.

$$\text{reflexión} + \text{emisividad} + \text{transmisión} = 1$$

La relación entre emisividad, reflectividad y transmisividad.

objetos no son opacos. La cantidad de luz emitida a una determinada temperatura es determinada por la emisividad de la superficie. La emisividad es la relación entre la energía radiada emitida por una

Efecto de un incremento del 1% de la emisividad en la temperatura aparente
 TBG=23 °C, $\epsilon=0.95$, $\lambda=8 \mu\text{m}$ to $14 \mu\text{m}$



Errores de temperatura equivalentes a un uno por ciento en la emisividad podrían llevar a 3°C de error a una temperatura de 450°C.

calibrar mediante la inserción de un termómetro con una sonda de contacto sobre la superficie de medida. Esta técnica también omite las pérdidas de temperatura en la superficie del blanco infrarrojo. Con este tipo de calibraciones, el usuario no debe tener en cuenta las complicadas correcciones relacionadas con la emisividad a cada temperatura para alcanzar la exactitud

requerida por los fabricantes. Estas correcciones están basadas en la diferencia entre la emisividad actual de la medida en la superficie y la emisividad configurada en el termómetro. Un uno por ciento en la emisividad a la temperatura de 500°C se convertiría en un error de 3.5°C en la calibración. Por otra parte, los valores de emisividad ofrecidos por los fabricantes son normalmente valores típicos y no son verificados en la calibración. Esto puede llevar a una pérdida de trazabilidad y a una inconsistencia en los resultados a lo largo del tiempo y entre diferentes calibraciones.

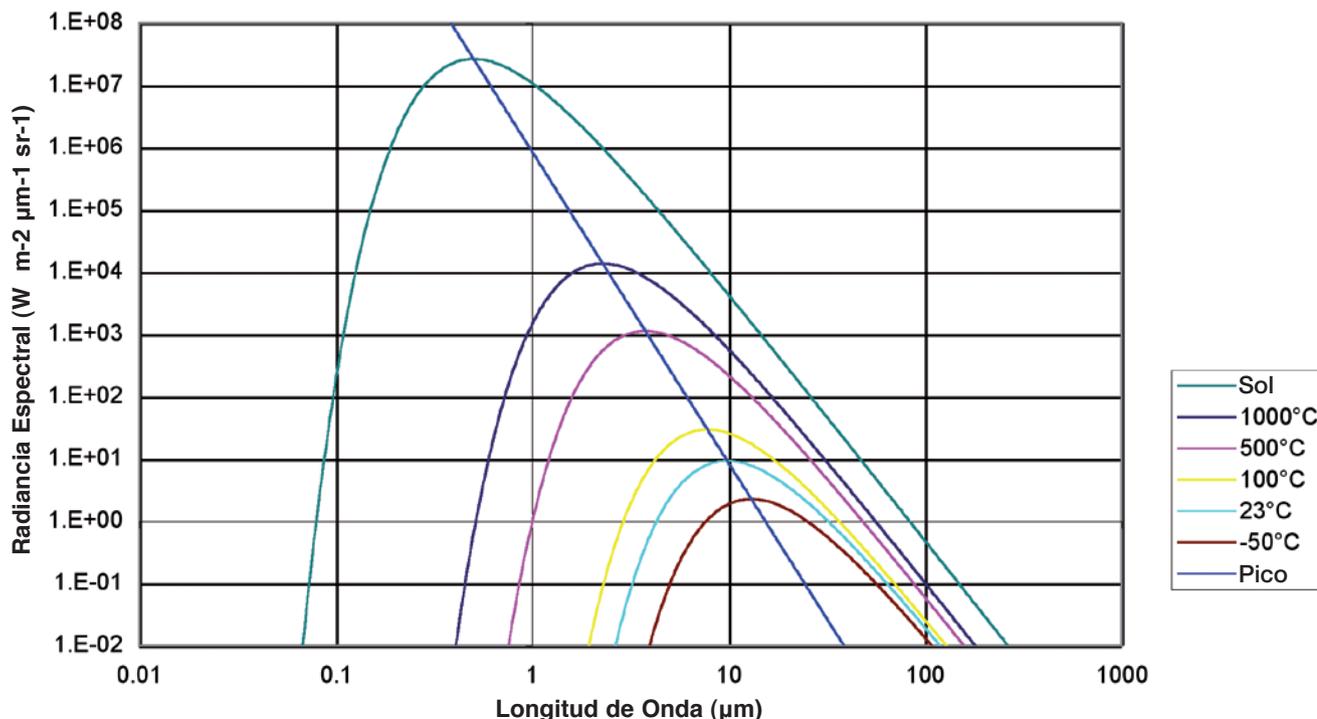
Para corregir los errores de temperatura en la superficie de medida, un calibrador de temperatura infrarroja debería ser calibrado con un radiómetro, que mide la cantidad de energía radiada proveniente de la superficie de calibración a cada temperatura. Una lectura de temperatura que ha tenido una **calibración radiométrica** no necesita emisividad adicional en relación con la temperatura,

a menos que la emisividad configurada en el termómetro no coincida con la del calibrador. Busque un calibrador que pueda compensar los valores de emisividad configurados en los termómetros infrarrojos. Como se muestra en la gráfica inferior de Radiancia Espectral y Temperatura, cuando la temperatura causa que un objeto emita luz, la luz se emite en diferentes longitudes de onda. Esto se llama radiancia espectral (ver página de abajo). Si se pudiera alinear todas las ondas de la más corta a la más larga, se vería que las ondas más brillantes están en algún lugar del medio. Si entonces se incrementa la temperatura del objeto que está emitiendo la luz, se debería percibir que las ondas más cortas se vuelven más brillantes que las largas. Cuando el objeto se calienta lo suficiente, incluso las ondas muy cortas de 0.400 μm a 0.700 μm comienzan a ser lo suficientemente brillantes para que la radiación emitida por el objeto sea visible al ojo humano y el objeto comience a brillar. La emisividad para cada longitud

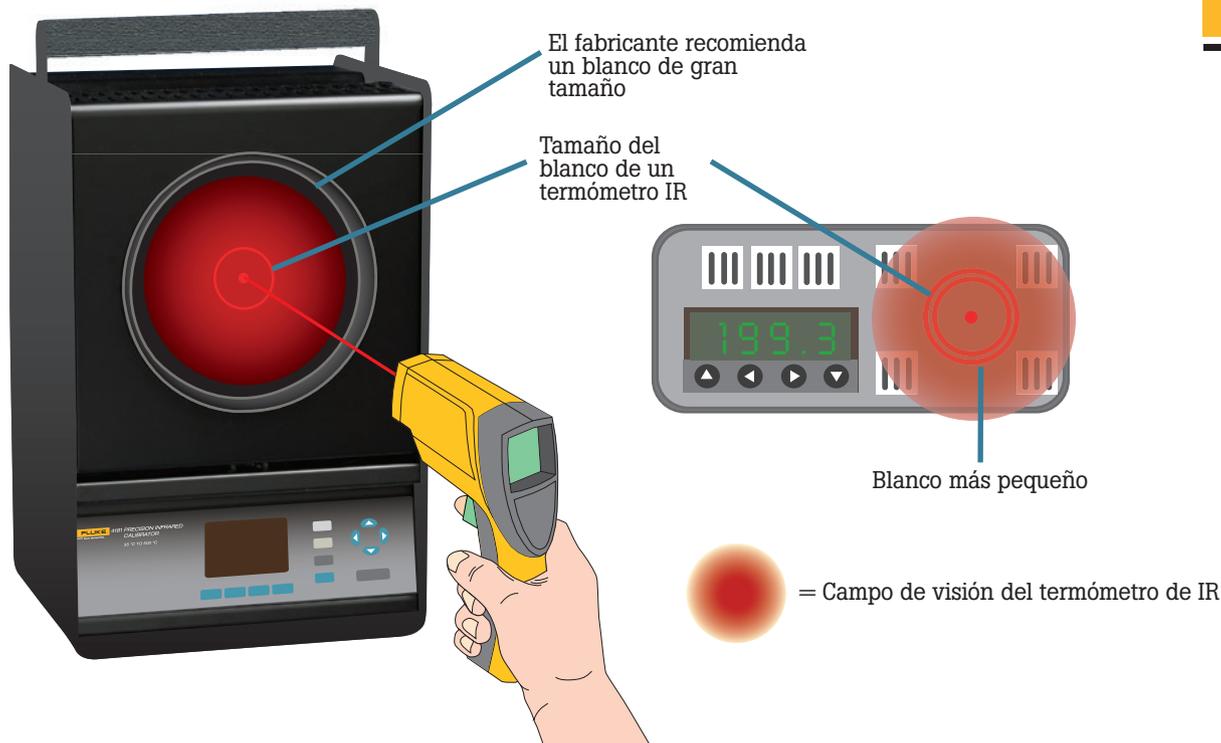
Consejo práctico:

Si el plato está a una temperatura por debajo del **punto de rocío**, se pueden formar cristales de hielo que producirán un cambio en la emisividad de la superficie, introduciendo errores en la calibración. Purgar con gas seco es uno de los métodos para prevenir la formación de cristales de hielo que en ocasiones pueden llegar a formar capas de hielo que enmascaren la temperatura del plato, produciendo grandes errores.

Radiancia Espectral y Temperatura



El pico de la gráfica corresponde a las longitudes de onda más brillantes. El pico se desplaza a la izquierda y el conjunto de la curva sube cuando se incrementa la temperatura.



La visión periférica en los termómetros de infrarrojos hace que sean necesarios platos de gran tamaño para la mayoría de las calibraciones.

de onda, llamada emisividad espectral, determina lo brillante que será cada onda. El termómetro utiliza el brillo total de una banda seleccionada de esas ondas para determinar la temperatura.

Detectar la radiancia con un termómetro

La energía luminosa radiada desde la superficie del calibrador es transmitida a través del aire hasta ser detectada por el termómetro. La suciedad, el humo y las superficies de vidrio pueden obstruir a la luz y afectar los resultados de la medida. El detector tiene que recoger la luz de un área precisa en el centro del blanco para evitar errores indeseados por objetos cercanos. La **profundidad de campo (D:S)** ayuda al usuario a encontrar la posición correcta del termómetro. Sin embargo, el **tamaño del blanco** es solo un porcentaje de todo el **campo de visión** del termómetro. Como el ojo humano, un termómetro infrarrojo tiene visión periférica. La visión periférica en los termómetros IR a veces se llama **dispersión**, puede suponer entre el 1 % y el 35 % del total de

la energía medida, dependiendo de la calidad del instrumento. Un tamaño de blanco que puede ser adecuado para medidas prácticas en campo, no es siempre el adecuado para la exactitud del laboratorio durante la calibración. Este es el motivo por el cual para calibrar la mayoría de los termómetros de infrarrojos es necesario un blanco con un tamaño bastante mayor al sugerido por la profundidad de campo. La energía infrarroja recogida por el termómetro será filtrada por su sistema óptico, que es solo sensible a una determinada banda de espectros que va de 8 μm a 14 μm . En la energía recogida se incluye la energía reflejada por la radiación de la temperatura ambiente de la habitación. La **reflexión** está relacionada con la emisividad de una interesante manera. La radiación infrarroja procedente del calibrador es normalmente una combinación de radiación térmica emitida desde la superficie de medida y energía reflejada de otros objetos calientes en el ambiente, tales como ventanas, muros y personas. Para un objeto

opaco la emisividad más la reflectividad es igual a uno. En consecuencia, si la emisividad de un plato opaco es cero, entonces nada de la energía radiada proveniente del plato es causada por su propia **temperatura termodinámica**. Toda la luz detectada por el termómetro es radiación reflejada del blanco que se originó en cualquier otro lugar, recogiendo de cualquier lugar de la habitación. Si la emisividad del blanco es 0.95, entonces la reflectividad es 0.05. En otras palabras, el plato absorbe el 95 % de la energía en la habitación y refleja el otro 5 %. Esto también significa que la energía emitida por el plato causada por la temperatura es el 95 % de lo que se podría esperar de un cuerpo negro. Los termómetros de IR intentan compensar la energía reflejada por el plato; sin embargo, cuando un plato alcanza temperaturas muy bajas comparadas con las del ambiente o si la emisividad es muy baja, entonces la energía reflejada puede hacer difícil leer la temperatura correcta.

Esto sucede porque la energía reflejada es relativamente alta en relación con la señal recibida por el termómetro cuando la temperatura del plato está por debajo de la temperatura ambiente. Esta situación se refiere a menudo a una baja relación señal- ruido. Los termómetros de IR miden un grupo de longitudes de onda llamados **banda espectral**. Los termómetros de IR son termómetros de banda espectral porque miden radiancia espectral, la radiancia colectiva de todas las longitudes de onda dentro de una banda espectral particular de 8 μm a 14 μm .

Calcular la temperatura de la radiancia.

Finalmente, un cálculo preciso de la temperatura requiere la configuración de la emisividad en el termómetro para ajustar la emisividad real de los objetos que están siendo medidos. Como alternativa, en el caso de un blanco con calibración radiométrica, la emisividad del termómetro debe coincidir con la emisividad calibrada en el blanco, de esta manera se puede establecer una comparación directa entre la temperatura infrarroja del plato del calibrador y el termómetro infrarrojo a calibrar.

Conclusion

Los termómetros de infrarrojos son utilizados en gran variedad de situaciones donde las medidas de contacto no son posibles. Las aplicaciones que abarcan estos aparatos son a menudo desconocidas, reduciendo la utilidad de las medidas resultantes. Pero la confianza en estas medidas se incrementa con la calibración. Cuando la fiabilidad de la medida que está en juego es clave, es bien sabida la importancia de calibrar regularmente los termómetros de IR. Todas las calibraciones no son exactamente iguales y la elección del equipamiento correcto puede marcar la diferencia. Cuando se escoge un calibrador, es necesario buscar uno lo suficientemente grande para acomodar la visión periférica del termómetro. Probablemente necesite un plato del mismo tamaño que el que el fabricante utiliza en sus calibraciones; los fabricantes de termómetros también recomiendan utilizar la misma distancia de calibración que ellos utilizan en sus laboratorios para alcanzar los niveles de exactitud requeridos. Si su calibrador no tiene una calibración radiométrica, necesita conocer la emisividad de su plato

para aplicar las correcciones adecuadas. Estos cálculos son complejos, por eso escoger el calibrador adecuado puede marcar la diferencia. Se deben realizar cálculos similares si la emisividad del termómetro no coincide con la del calibrador, y es por esto por lo que un calibrador bien diseñado que pueda hacer estos cálculos por usted puede evitarle preocupaciones y tiempo.

Glosario

Absorción:

El proceso de convertir una energía en forma de radiación que incide sobre una superficie en energía térmica.

Cuerpo negro:

Un cuerpo negro es una superficie ideal que emite y absorbe la radiación electromagnética con la máxima cantidad de potencia posible a una temperatura dada. Dicha superficie no permite que la radiación refleje o pase a través de ella. En un laboratorio un cuerpo negro es una larga cavidad con una pequeña apertura. La reflexión es evitada porque cualquier luz que entra a través del agujero tiene que reflejarse sobre la superficie del cuerpo muchas veces, siendo absorbida antes de escapar.

Punto de rocío:

El punto de rocío es la temperatura a la que el aire debe ser enfriado a una presión barométrica determinada, para que el vapor se condense en forma de agua.

Profundidad de Campo

La profundidad de campo (D:S) es la relación entre la distancia al objeto y el diámetro del área que contiene un porcentaje específico de la energía total recogida por el termómetro infrarrojo. La relación D:S es utilizada como una guía para determinar la distancia apropiada para hacer medidas de temperatura infrarroja.

Radiación electromagnética:

La energía emitida por una superficie que viaja a través del espacio con componentes eléctricos y magnéticos. Algunos ejemplos pueden ser: ondas de radio, microondas, radiación de onda milimétrica, radiación infrarroja, luz visible, radiación ultravioleta, rayos X y gamma.

Emisividad:

La emisividad de una superficie indica como es de eficiente la emisión de radiación de esa superficie comparada con la de un cuerpo negro a la misma temperatura. Es medida como la relación de energía radiada por el material y la energía radiada por un cuerpo negro a esa temperatura.

Campo de visión:

El campo de visión (FOV) es la región en el espacio que contiene una cantidad específica de energía radiada que es recogida por el sistema óptico de un termómetro infrarrojo. FOV se expresa normalmente en grados (ej, 1 °). La superficie de medida debe rellenar completamente el campo de visión para asegurar una medida exacta de la temperatura.

Cuerpo gris:

Es una superficie que emite radiación con una emisividad constante sobre todas las longitudes de onda y temperaturas. Aunque los cuerpos grises no existen en la práctica, son una buena aproximación para la mayoría de las superficies reales.

Termómetro de infrarrojos:

Es un aparato que calcula la temperatura de un objeto mediante la medida de la radiación infrarroja emitida por un objeto. A veces también se llaman termómetros de no contacto por su capacidad de medir temperatura en una superficie sin entrar en contacto con ella.

Radiación infrarroja:

La radiación infrarroja (IR) es una radiación electromagnética con longitudes de onda mayores que las de la luz visible y más cortas que las radiaciones de onda milimétricas. Todas las superficies con una temperatura mayor que el cero absoluto (-273.15 °C) emiten radiación infrarroja.

Opaco:

Un objeto opaco no permite que la radiación electromagnética pase a través de él. Por ejemplo, el cristal es opaco a la radiación infrarroja mayor de 3 micrones pero es transparente a la luz visible.

Radiancia:

Es la medida de la intensidad de radiación electromagnética emitida o pasando a través de un área particular en una dirección determinada. Se define como **potencia** por unidad de **área** para unidad de **ángulo sólido**. La unidad de radiancia del sistema internacional es vatios por estereorradián por metro cuadrado ($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$).

Calibración Radiométrica:

Un a calibración que compara las medidas realizadas por un instrumento con las medidas hechas con un radiómetro de referencia, con el propósito de detectar, informar o eliminar por ajuste los errores en el instrumento calibrado.

Radiómetro:

Un aparato utilizado para medir la potencia, también llamada flujo radiante, en radiación electromagnética. Ver también termómetros de infrarrojos.

Reflexión:

La radiación electromagnética es reflejada cuando cambia de dirección al llegar a una superficie permaneciendo en el primer medio sin pasar al segundo.

Reflectividad:

La fracción de radiación incidente reflejada por una superficie.

Dispersión:

Es un efecto causado por las no uniformidades en un medio que fuerzan a la luz a viajar en una dirección que la desvía de un camino recto.

Banda espectral:

Es un rango continuo de longitudes de onda bien definidas. El rango de 8 a 14 micrómetros utilizado en la calibración de termómetros infrarrojos es un ejemplo de banda espectral.

Radiancia espectral:

Una medida de la intensidad de radiación electromagnética a una longitud de onda específica emitida por/o pasando a través de un área específica en una dirección específica. Se define como **radiancia por longitud de onda**. La radiancia espectral tiene las unidades de $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$ cuando es medida en unidades por longitud de onda.

Dimensiones del blanco:

Es el diámetro del blanco de medida de un radiómetro. Se define normalmente como el diámetro que recoge un porcentaje definido del total de la potencia recogida por el radiómetro, por ejemplo el 95%. El tamaño del plato variará con la distancia al radiómetro.

Temperatura termodinámica:

Es un valor de temperatura basado en una escala que es consistente con las leyes conocidas de la termodinámica.

Transmisión:

El proceso por el cual a alguna fracción de energía electromagnética que alcanza una superficie se la permite atravesar dicha superficie. La transmisión se asume como cero para superficies opacas dentro de la banda espectral medida

Transmisividad:

Es una medida de la cantidad de ondas electromagnéticas que pasan a través de una superficie. Es calculada tomando el ratio del valor que pasa a través de la superficie con respecto al valor que alcanza la superficie.

Uniformidad:

Una especificación de uniformidad es una expresión de la máxima diferencia admisible entre dos resultados de medida dentro de la región contenida por un medio o superficie de medida.

Longitud de onda:

La distancia en la dirección de una onda en movimiento hasta completar un ciclo. En una onda, una propiedad como el potencial eléctrico varía cíclicamente con la posición. En una onda en movimiento la posición también cambia con el tiempo.

Fluke. Manteniendo su mundo en marcha.

Fluke Corporation

PO Box 9090, Everett, WA USA 98206

Fluke Europe B.V.

PO Box 1186, 5602 BD
Eindhoven, The Netherlands

For more information call:

In the U.S.A. (800) 443-5853 or
Fax (425) 446-5116
In Europe/M-East/Africa (31 40) 2 675 200 or
Fax (31 40) 2 675 222
In Canada (800)-36-FLUKE or
Fax (905) 890-6866
From other countries +1 (425) 446-5500 or
Fax +1 (425) 446-5116

Web: www.fluke.com

© Copyright 2008 Fluke Corporation. Reservados todos los derechos. Impreso en los Países Bajos 04/2008. Información sujeta a modificación sin previo aviso.

Pub_ID: 11329-spa, rev 01