

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

de la medición de la temperatura sin contacto

Contenido

	Página
Principios físicos fundamentales	4 – 9
Emisividad y medición de la temperatura	10 – 14
Óptica, Campo de visión y electrónica	15 – 18
Termómetros de infrarrojos y aplicaciones	19 – 24
Cámaras termográficas y aplicaciones	25 – 31
Bibliografía	32
Apéndice: Glosario	33
Apéndice: Tabla de emisividad	34 – 38
Apéndice: Criterios de selección para Los dispositivos IR para medir la temperatura	39

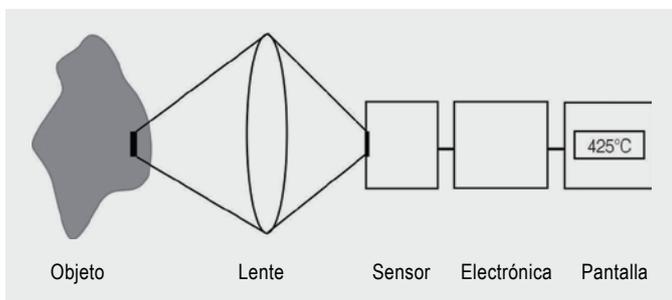
Principios físicos fundamentales

Principios físicos

Podemos ver el mundo en la luz visible gracias a nuestros ojos. Esta luz nos ocupa únicamente una pequeña parte del espectro de radiación existente, pues prácticamente la mayor parte es invisible. La radiación procedente de otros rangos espectrales es siempre fuente de información adicional.

El sistema para medir la temperatura con infrarrojos

Todo cuerpo con una temperatura que supere el punto cero absoluto de $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($= 0\text{ Kelvin}$) emite en la superficie una radiación electromagnética proporcional a su temperatura propia, la denominada radiación propia. Una parte de esta radiación es infrarroja que se puede utilizar para la medición de la temperatura. Esta radiación se introduce en la atmósfera y se enfoca por medio de una lente (lente de entrada). Con un elemento detector, el cual genera una señal eléctrica proporcional a la radiación. La señal se intensifica a continuación de forma digital para convertirla en una magnitud de salida proporcional a la temperatura del objeto.

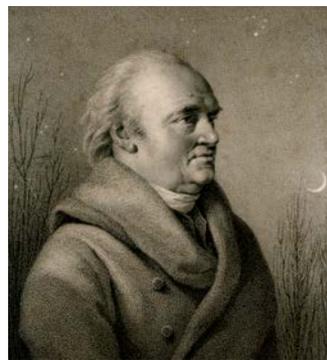


Sistema de infrarrojo

El valor medido se puede visualizar en una pantalla, o bien se puede emitir en forma de señal analógica con la finalidad permitir una conexión sencilla a sistemas de regulación adaptados para el control de procesos.

Las ventajas de la medición de la temperatura sin contacto saltan a la vista:

- Medición en objetos en movimiento, de acceso difícil o muy calientes
- Tiempos de respuesta muy cortos de medición y reacción
- Medición sin retroacción, sin actuar en el objeto a medir
- Medición sin destrucción del objeto
- Larga duración del punto de medición, sin desgaste

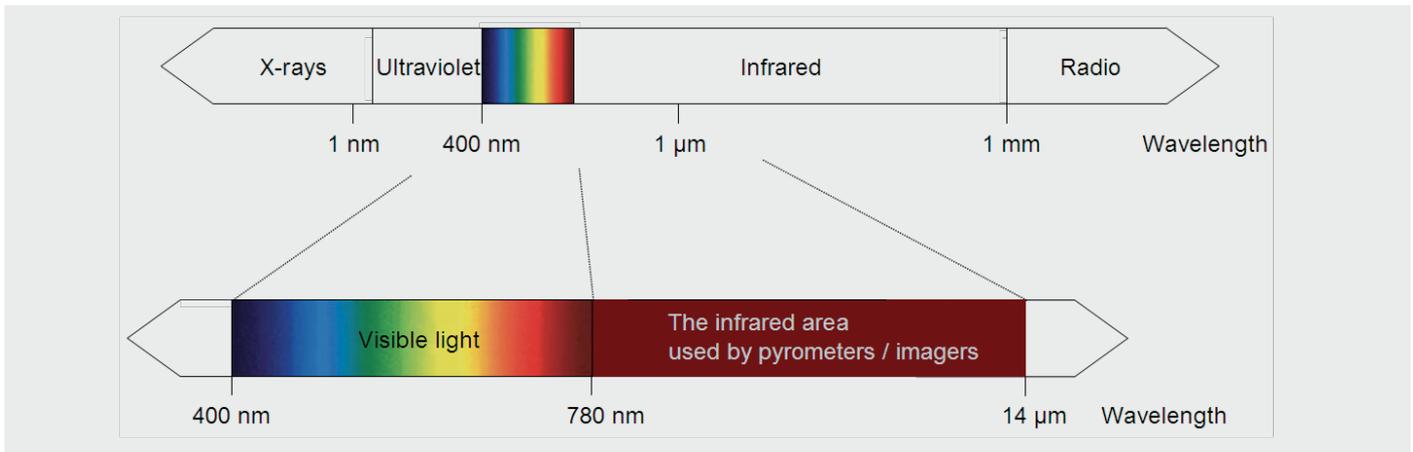


William Herschel (1738–1822)



El descubrimiento de la radiación infrarroja

William Herschel descubrió por casualidad en el año 1800 los rayos infrarrojos, mientras buscaba materiales ópticos nuevos. Herschel ennegreció el bulbo de un termómetro de mercurio para absorber mejor el calor, y lo utilizó para medir el calentamiento de los diversos colores del espectro, que se formaban sobre una mesa al hacer pasar la luz solar por un prisma de cristal. Al ir moviendo lentamente el termómetro ennegrecido a través de los colores del espectro notó que la temperatura de los colores del espectro aumentaba al ir del violeta al rojo. Herschel decidió medir la temperatura con el termómetro en una zona ubicada un poco más allá de la luz roja del espectro, al parecer desprovista de luz, y descubrió que en esta región seguía aumentando la temperatura. Por último, encontró la temperatura más alta de todas estaban en el rango ubicado más allá de la luz roja del espectro. En la actualidad, este rango se denomina espectral infrarrojo.



El espectro electromagnético con el rango infrarrojo utilizado para pirómetros

Espectro de radiación electromagnético

Se denomina espectro, en el sentido estricto físico de la palabra, a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas, relacionada con la longitud de onda o de la frecuencia. El espectro de la radiación electromagnética se extiende en un intervalo rango aprox. 23 potencias de diez y se distingue en diversas fases a través de su creación, generación y aplicación de la radiación. Todas las clases de la radiación electromagnética están sometidas a leyes semejantes de la difracción, refracción, reflexión y polarización. Su velocidad de propagación es, bajo condiciones normales, la misma que la de la luz, es decir, el producto derivado de la longitud de onda y frecuencia es constante:

$$\lambda \cdot f = c$$

El rango espectral infrarrojo ocupa, en el espectro total de la radiación electromagnética, tan sólo una sección muy limitada. Va desde el rango espectral visible de 0,78 μm hasta la longitud de onda de 1000 μm.

Para la medición de la temperatura por infrarrojo sólo nos interesa el rango de longitud de onda que va desde 0,7 a 14 μm. Por encima de esta longitud de onda, las cantidades de energía son tan insignificantes que los detectores no son lo suficientes sensibles para medirlas.

Principios físicos fundamentales

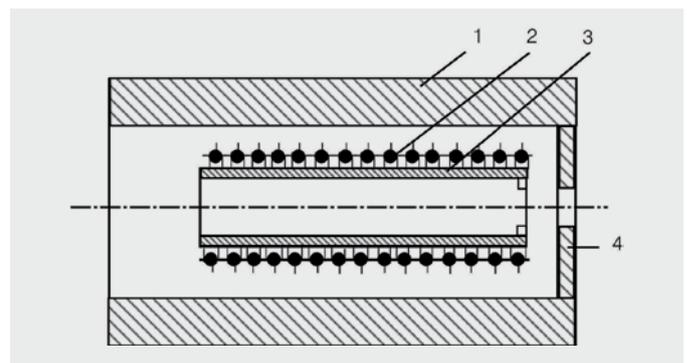
Alrededor de 1900, Max Planck, Josef Stefan, Ludwig Boltzmann, Wilhelm Wien y Gustav Kirchhoff definieron con más precisión el espectro electromagnético, y establecieron relaciones cualitativas y cuantitativas para la descripción de la energía infrarroja.

El radiador integral o cuerpo negro

Un cuerpo negro es un cuerpo que absorbe toda la radiación incidente, y en el que nada de la radiación incidente se refleja o pasa a través del mismo.

$$\alpha = \varepsilon = 1 \quad (\alpha \text{ grado de absorción, } \varepsilon \text{ emisividad})$$

Un cuerpo negro irradia para cada longitud de onda la energía máxima posible. La intensidad específica de la radiación no depende del ángulo de emisión. El cuerpo negro constituye la base para comprender los principios físicos fundamentales de la tecnología de la medición de la temperatura sin contacto y para calibrar termómetros de infrarrojo.



Sección de un cuerpo negro:

1 – tubo cerámico, 2 – calefacción, 3 – tubo de Al_2O_3 , 4 – pantalla

La estructura de un cuerpo negro es en principio muy sencilla. Un cuerpo hueco que se puede calentar hasta una determinada temperatura y si alcanza el equilibrio termodinámico en su cavidad. Emitirá entonces desde la cavidad una radiación negra ideal de la temperatura ajustada. En función de la zona térmica y del uso previsto, la estructura de un cuerpo negro semejante depende del material y de la disposición geométrica. Si el orificio en la pared es muy pequeño en comparación con la superficie total, significa

Principios físicos fundamentales

que la perturbación del estado ideal se podrá considerar como insignificante. Si, p. ej., se dirige la mirada con una sonda de medición a este orificio y se podrá considerar la radiación térmica proveniente de allí como radiación negra y calibrar así el dispositivo de medición. Las disposiciones más simples utilizan en la práctica superficies, provistas de capas lacadas pigmentadas y que tienen, dentro del rango deseado de longitud de onda, unos grados de absorción y emisividad de hasta el 99 por ciento. Lo que es suficiente a menudo al calibrar para realizar mediciones prácticas.

Las leyes de radiación del cuerpo negro

La ley de radiación de Planck constituye la base más fundamental de la medición de la temperatura sin contacto. Describe la radiación específica espectral $M_{\lambda s}$ emitida por un cuerpo negro al semiespacio en función de su temperatura T y de la longitud de onda observada λ .

$$M_{\lambda s} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} = \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{C_2/\lambda T} - 1}$$

- c Velocidad de la luz
- C_1 $3,74 \cdot 10^{-16} \text{ W m}^2$
- C_2 $1,44 \cdot 10^{-2} \text{ K m}$
- h Cuanto de acción de Planck
- k Constante Boltzmann

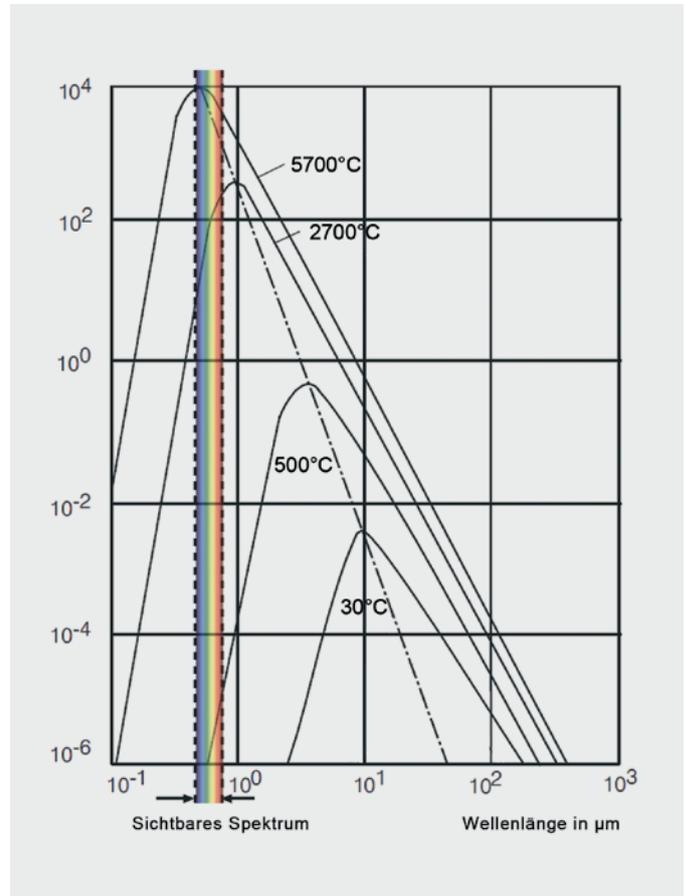
La representación gráfica de la ecuación en función de λ se muestra en la siguiente imagen con diversas temperaturas como parámetros.

Se puede ver que el pico de la radiación específica espectral se desplaza hacia longitudes de onda más cortas al ir aumentando la temperatura. Se puede derivar un gran número de otros coeficientes, de los que se van a nombrar dos brevemente a continuación. Integrando la intensidad de la radiación espectral por todas las longitudes de onda de cero a infinito, se obtiene el valor de la radiación total emitida por el cuerpo. Esta relación se denomina ley de Stefan-Boltzmann.

$$M_{\lambda s} = \sigma \cdot T^4 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

En general la radiación emitida de un cuerpo negro en el rango total de longitud de onda, es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. En la representación gráfica de la ley de radiación de Planck se puede ver igualmente que la longitud de onda, por lo que la radiación emitida de un cuerpo negro presenta el pico, y se desplaza al modificar la temperatura. La ley de desplazamiento de Wien se puede deducir a partir de la fórmula de Planck por diferenciación.

$$\lambda_{\text{máx}} \cdot T = 2898 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{K}$$



Radiación específica espectral $M_{\lambda s}$ del cuerpo negro en función de la longitud de onda.

La longitud de onda, para la cual se encuentra el pico de la radiación, se desplaza al ir aumentando la temperatura hacia el sector de onda corta.

El cuerpo gris

Por eso no todo cuerpo corresponde al ideal del cuerpo negro. Muchos cuerpos emiten menos radiación teniendo la misma temperatura. La emisividad ϵ indica la relación entre el valor de radiación real y aquel del cuerpo negro. Se encuentra entre cero y uno. El sensor de infrarrojo recibe, además de la radiación emitida por la superficie del objeto, también la radiación reflejada del entorno y, bajo determinadas circunstancias, la radiación infrarroja que se transmite a través del cuerpo.

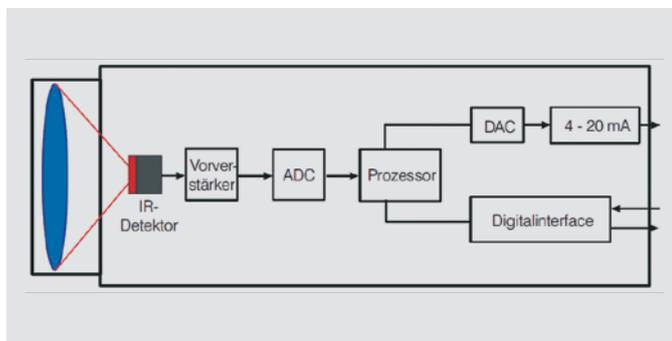
Se aplica: $\epsilon + \rho + \tau = 1$

- siendo ϵ la emisividad
- ρ el grado de reflexión
- τ el grado de transmisión

La mayoría de los cuerpos no presentan una transmisión en la gama infrarroja. De este modo, la fórmula se simplifica en:

$\epsilon + \rho = 1$

Estructura y modo de funcionamiento de los termómetros de infrarrojo



Esquema funcional de un termómetro de infrarrojo

La imagen muestra la estructura básica de un termómetro de infrarrojo. La radiación infrarroja emitida por el objeto a medir se enfoca por medio de una lente luego con un detector infrarrojo detector de infrarrojo, el cual genera una señal eléctrica correspondiente a la radiación, que – a continuación – se puede intensificar y seguir procesando. Con un procesamiento digital de la señal se convierte esta señal en una magnitud de salida proporcional a la temperatura del objeto, que se visualiza en una pantalla o se emite como señal analógica.

Para compensar la influencia de la temperatura ambiente se registra, con ayuda de un segundo detector, la temperatura del dispositivo de medición o de su canal óptico. El cálculo de la temperatura del objeto a medir se efectúa, por lo tanto, principalmente en tres etapas:

1. Conversión de la radiación infrarroja recibida en una señal eléctrica
2. Compensación de la radiación de fondo de dispositivo y objeto
3. Compensación de máximos de señal y emisión de la información de la temperatura

Como opciones de salida hay disponibles, además de las indicaciones simples de la temperatura en pantalla, salidas estandarizadas en forma de 0/4 – 20 mA lineales, 0 – 10 V y señales de termopar, que permiten una conexión sencilla a sistemas de regulación para el control de procesos control de procesos. Además, la mayoría de los termómetros de infrarrojo utilizados hoy en día poseen, debido al procesamiento de los valores medidos efectuados internamente de modo digital, también interfaces digitales (p. ej. USB, RS485, Ethernet) para transmitir datos y para acceder a parámetros de dispositivos.

Detectores de infrarrojo

El elemento más importante de todo termómetro de infrarrojo es sensor responsable de la captación de la radiación, denominado también detector. Se distinguen dos grupos principales de detectores de infrarrojo.



- Termopila
- Detector piroeléctrico
- Bolómetro (FPA) (para cámaras de infrarrojo)

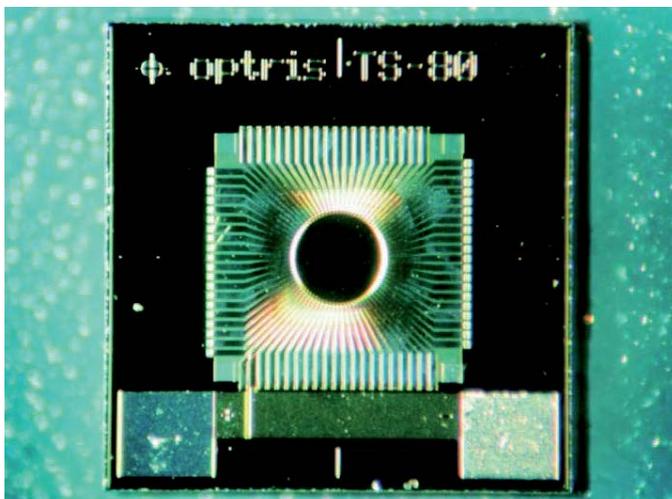
Principios físicos fundamentales

Detectores térmicos

En estos detectores se cambia la temperatura del elemento detector por absorción de radiación electromagnética. El cambio de temperatura conlleva la modificación de una propiedad dependiente de la temperatura de este detector, que se evalúa eléctricamente y que constituye una medida para la energía absorbida.

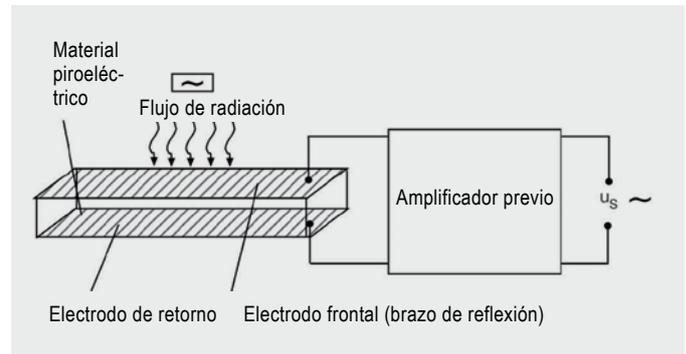
Termopares de radiación (termopilas)

Si se calienta el punto de unión de dos metales diferentes, se generará una tensión eléctrica debido al efecto termoeléctrico. Este efecto se aprovecha, con ayuda de termopares, desde hace ya mucho tiempo en el sector industrial para la medición de la temperatura con contacto. Si se genera el



Termopila TS80

calentamiento del punto de unión por absorción de radiación, este componente se denominará en este caso termopar de radiación. En la imagen se han representado termopares de bismuto/antimonio dispuestos de forma circular alrededor de una superficie del detector sobre un chip. Al calentar la superficie del detector, se genera una tensión de señal proporcional a la temperatura, que se puede medir con los adaptadores de unión.



Estructura básica de un detector piroeléctrico

Detectores piroeléctricos

Esta imagen muestra la estructura básica de un detector piroeléctrico. El elemento sensible consta de un material piroeléctrico con dos electrodos metalizados al vacío. La carga de la superficie se modifica debido al efecto piroeléctrico, por medio del cambio de temperatura del elemento sensible que se produce durante la absorción de la radiación infrarroja. Resulta una señal de salida que se procesa en un amplificador previo.

Debido al modo de generar la carga en el piroeléctrico, el flujo de la radiación se tiene que interrumpir, con ello, de modo continuado alternante (corte periódico). La ventaja de la amplificación posterior con selección en frecuencia es la buena relación señal/ruido.

Bolómetro

En los bolómetros se aprovecha la dependencia de la temperatura de la resistencia eléctrica. El elemento sensible consta de una resistencia, cuyo valor cambia con la absorción de radiación térmica. El cambio de la resistencia origina un cambio de la tensión de la señal en declive, mediante la resistencia del bolómetro. Para alcanzar una sensibilidad alta y una capacidad detectora específica importante, es imprescindible usar ante todo un material con un coeficiente de temperatura alto de la resistencia eléctrica. Los bolómetros que trabajan con temperatura ambiente aprovechan tanto el coeficiente de temperatura de la resistencia de metales (p. ej. bolómetros de capa fina y capa negra) como también el de semiconductores (p. ej. bolómetros de termistor).

Dignos de mención son los siguientes desarrollos tecnológicos en los bolómetros usados en equipos de imágenes infrarrojas:

La tecnología de semiconductor sustituye el escáner mecánico. FPAs (Focal Plane Arrays) se producen tomando como base bolómetros de capa fina. Para lo que se usa VOX (óxido de vanadio) o silicio amorfo como tecnologías alternativas. Estas tecnologías permiten mejoras drásticas en la relación calidad-precio. En la actualidad, los tamaños típicos de detectores son 160x120, 320x240 y 640x480 píxel.

Detectores cuánticos

La mayor diferencia entre los detectores cuánticos y los detectores térmicos consiste en su reacción más rápida a la radiación absorbida. El modo de actuación de los detectores cuánticos se basa en el efecto fotoeléctrico. Para este fin los electrones en el material semiconductor alcanzan un nivel más elevado de energía por los fotones incidentes de la radiación infrarroja. Al volver a descender se genera una señal eléctrica (tensión o corriente). También es posible que cambie la resistencia eléctrica. Estas señales se pueden evaluar con precisión. Los detectores cuánticos son muy rápidos (ns a μ s).

El cambio de temperatura en el elemento sensible de un detector térmico es un proceso relativamente lento, de modo que las constantes de tiempo de los detectores térmicos, por regla general, son mayores en algunas órdenes de magnitud que las constantes de tiempo de los detectores cuánticos. De modo muy aproximado se puede decir que los detectores térmicos tienen constantes de tiempo de respuesta en la gama de milisegundos, mientras que las constantes de tiempo de los detectores cuánticos se hallan en la gama nano y de microsegundos.

A pesar del desarrollo vertiginoso en el sector de los detectores cuánticos hay un gran número de aplicaciones para las que los detectores térmicos son mucho más aptos que los detectores cuánticos. Por lo tanto, se usan ambos tipos hoy en día de modo equitativo.

Conversión de la radiación infrarroja en una señal eléctrica y cálculo de la temperatura del objeto

La señal eléctrica en el detector es según la ley de Stefan-Boltzmann:

$$U \sim \varepsilon T_{\text{obj}}^4$$

Como la radiación ambiental reflejada y la radiación propia del termómetro de infrarrojo se ha de considerar también, la fórmula pasa a ser:

$$U = C \cdot [\varepsilon T_{\text{obj}}^4 + (1 - \varepsilon) \cdot T_{\text{amb}}^4 - T_{\text{pyr}}^4]$$

U	Señal de detector
T_{obj}	Temperatura de objeto
T_{amb}	Temperatura de la radiación de fondo
T_{pyr}	Temperatura de dispositivo
C	Constante específica del dispositivo

$$\rho = 1 - \varepsilon \quad \text{grado de reflexión del objeto}$$

Como la mayoría de los termómetros de infrarrojo no trabajan en el rango completo de longitud de onda, la cantidad exponencial n depende de la longitud de onda λ .

n es para las longitudes de onda 1 a 14 μ m en el rango de 17 ... 2 (para longitudes de onda largas entre 2 ... 3 y para longitudes de onda cortas entre 15 ... 17).

$$U = C \cdot [\varepsilon T_{\text{obj}}^n + (1 - \varepsilon) \cdot T_{\text{amb}}^n - T_{\text{pyr}}^n]$$

La temperatura del objeto se calcula de este modo como sigue:

$$T_{\text{obj}} = \sqrt[n]{\frac{U - C \cdot T_{\text{amb}}^n + C \cdot \varepsilon T_{\text{amb}}^n + C \cdot T_{\text{pyr}}^n}{C \varepsilon}}$$

Los resultados de estos cálculos están guardados para todas las temperaturas aparecidas como grupo de curvas en el EEPROM del termómetro de infrarrojo. Así se garantiza un acceso rápido a los datos, así como un cálculo rápido de la temperatura.

La emisividad

De la ecuación se deduce que la emisividad ε es de una importancia crucial, si se desea determinar la temperatura midiendo la radiación.

La emisividad es una medida para el coeficiente de las radiaciones térmicas emitidas por un cuerpo gris y negro a la misma temperatura. Es 1 como máximo para el cuerpo negro. Un cuerpo gris es un objeto que, para todas las longitudes de onda, presenta la misma emisividad y que emite menos radiación infrarroja que un cuerpo negro ($\varepsilon < 1$). Los cuerpos, cuya emisividad depende además de la temperatura y de la longitud de onda, p. ej., metales, se denominan cuerpos no grises o también radiadores selectivos.

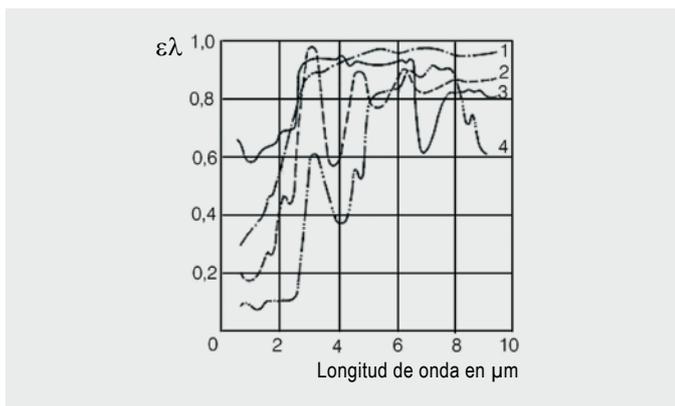
Véase: *Tabla de emisividades desde página 34*

Emisividad y medición de la temperatura

Emisividad y medición de la temperatura

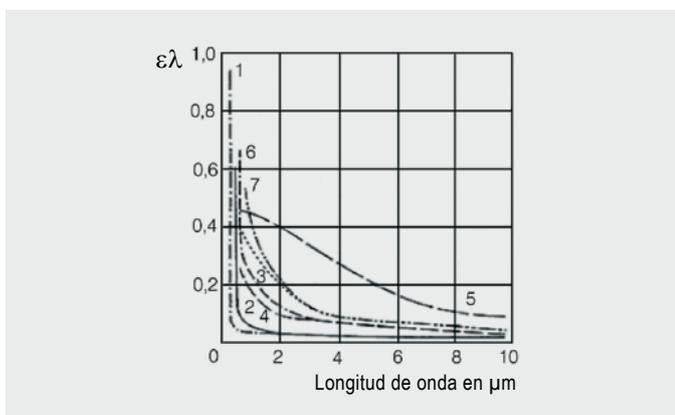
La emisividad constituye un factor importante en la medición precisa de temperaturas. Depende de diversos factores y se tiene que ajustar en función de la aplicación.

La emisividad depende, en teoría, del material, del acabado de su superficie, de la temperatura, de la longitud de onda, del ángulo de medición y, bajo determinadas circunstancias, también de la estructura usada de medición. Pero un gran número de materiales no metálicos presenta, por lo menos en el rango espectral de onda larga, una emisividad alta y relativamente constante, independientemente del acabado de su superficie.



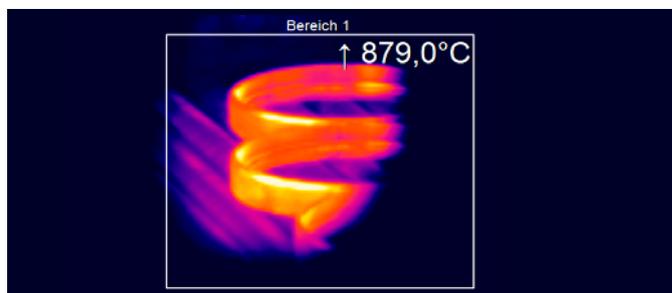
Emisividad espectral de algunos materiales: 1 Esmalte, 2 Yeso, 3 Hormigón, 4 Chamota

Los metales tienen, por regla general, una emisividad inferior, dependiente fuertemente del acabado de su superficie y decreciente al ir aumentando las longitudes de onda.



Emisividad de metales: 1 Plata, 2 Oro, 3 Platino, 4 Rodio, 5 Cromo, 6 Tántalo, 7 Molibdeno

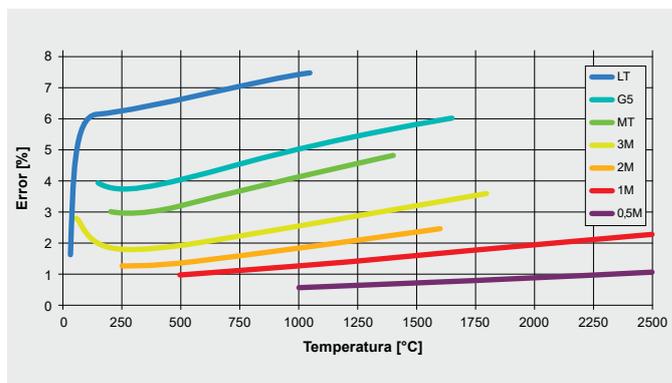
Medición de la temperatura en metales



Medición en anillos de apoyo durante proceso de temple

Lo que puede conllevar resultados diferentes y no fiables de la medición. A la hora de elegir los dispositivos adecuados para la medición de la temperatura, habrá que tener en cuenta la radiación infrarroja que se mide según una longitud de onda determinada y en un rango de temperatura determinado por eso los metales tienen la emisividad más alta posible. En el gráfico (abajo) se puede ver que tiene sentido aplicar la longitud de onda más corta disponible para la medición, porque en muchos metales el error de la medición va en aumento con la longitud de onda.

En metales la longitud de onda óptima para temperaturas altas es de aprox. 0,8 a 1,0 μm en el límite de la región visible. También son posibles longitudes de onda de 1,6 μm , 2,3 μm y 3,9 μm .

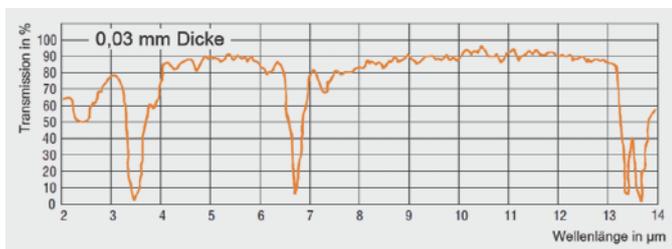


Error de medición a un 10 por ciento de emisividad mal ajustada en función de la longitud de onda y temperatura del objeto (LT: 8 – 14 μm ; G5: 5 μm ; MT: 3,9 μm ; 3M: 2,3 μm ; 2M: 1,6 μm ; 1M: 1,0 μm ; 05M: 525 nm).

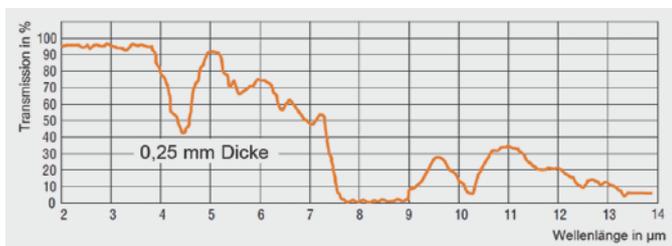
Más información en nuestro folleto sobre temperaturas altas: www.optris.de/temperaturmessung-metallindustrie

Medición de la temperatura en plásticos

Los grados de transmisión de las láminas de plástico varían con la longitud de onda incidente. Se comportan inversamente proporcional al espesor, siendo los materiales finos más permeables que los plásticos gruesos. Las mediciones óptimas de la temperatura se pueden realizar para longitudes de onda, para las cuales el grado de transmisión es cero de modo aproximado e independiente del espesor. Polietileno, polipropileno, nilón y poliestirol no son, p. ej. para 3,43 μm permeables al infrarrojo, poliéster, poliuretano, teflón, FEP y poliamida, por otra parte, no lo son a 7,9 μm . En caso de láminas más gruesas (>0,4 mm) y pigmentadas, se puede elegir una longitud de onda entre 8 y 14 μm para la medición de la temperatura.

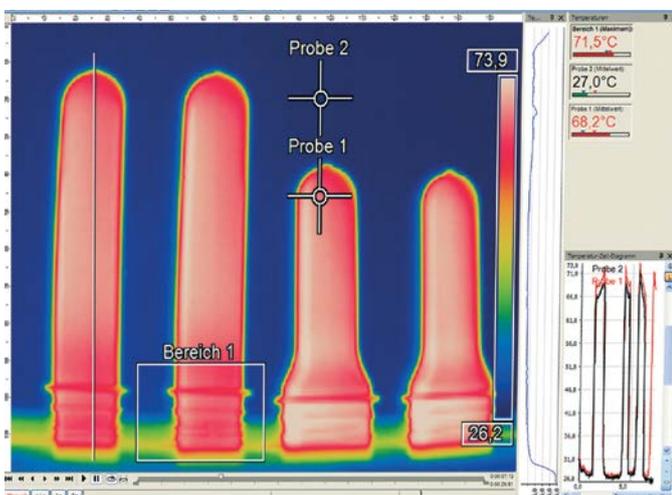


Permeabilidad espectral de láminas de plástico de polietileno



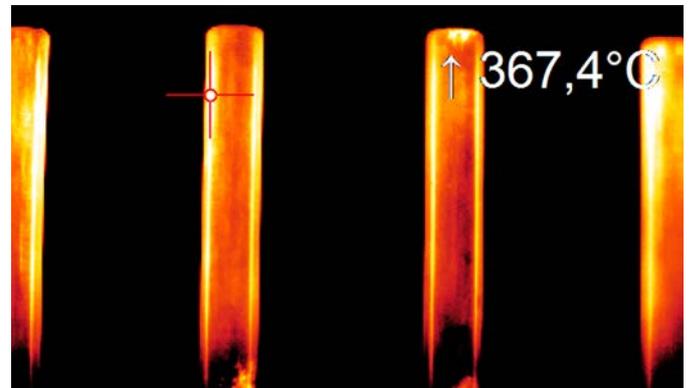
Permeabilidad espectral de láminas de plástico de poliéster

Los fabricantes de dispositivos de infrarrojo pueden determinar el rango espectral óptimo para la medición con ayuda de una prueba del material plástico. El grado de reflexión se encuentra en casi todos los plásticos entre el 5 y el 10 por ciento.



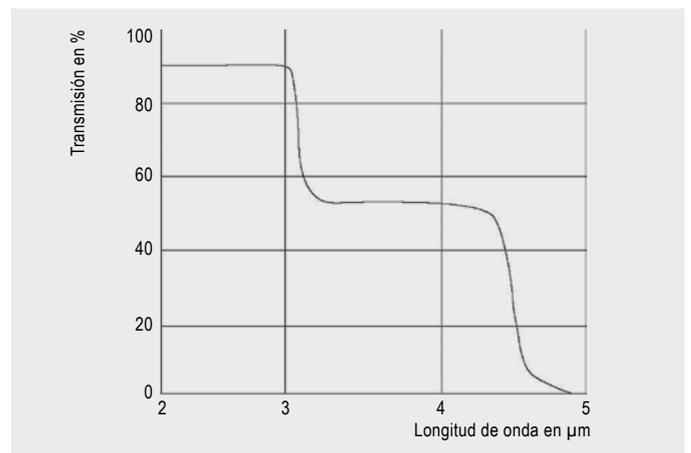
Control detallado de preformas en la producción de botellas

Medición de la temperatura en vidrio



Medición de punto caliente en tubos de vidrio

Si se realizan mediciones de la temperatura en vidrio con termómetros de infrarrojos o la cámara infrarroja especial optris PI G7, se deberán tener en cuenta tanto la reflexión como también la transmisión. La elección cuidadosa de la longitud de onda permite medir en la superficie del vidrio, así como en su profundidad. Longitudes de onda de 1,0 μm , 2,3 μm ó 3,9 μm son apropiadas para mediciones por debajo de la superficie, y de 5 μm y 7,9 μm para mediciones de las temperaturas superficiales. A temperaturas bajas se deberían aplicar 8 a 14 μm y, para compensar la reflexión y ajustar la emisividad a 0,85. Es útil emplear un dispositivo de medición con un tiempo corto de respuesta, porque el vidrio es un conductor del calor malo y puede cambiar rápidamente la temperatura superficial.



Permeabilidad espectral de vidrio

Más información en nuestro folleto sobre aplicaciones en vidrio:
www.optris.de/temperaturmessung-glasindustrie

Más información en nuestro folleto sobre aplicaciones en plásticos:
www.optris.de/temperaturmessung-kunststoffverarbeitung

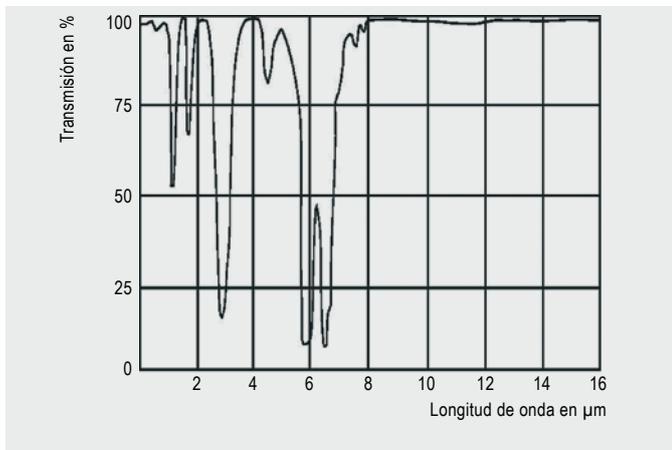
Emisividad y medición de la temperatura

Influencia del entorno

En la imagen inferior se puede ver que la permeabilidad (transmisión) del aire depende en gran medida de la longitud de onda incidente. Las áreas de alta atenuación alternan con aquellas de alta permeabilidad, son las denominadas ventanas atmosféricas. En la ventana multispectral de onda larga (8 ... 14 μm) se consigue la permeabilidad uniformemente alta, en cambio, en el sector de onda corta aparecen debido al ambiente pérdidas, que pueden producir resultados de la medición alterados. En este caso, las ventanas de medición típicas son

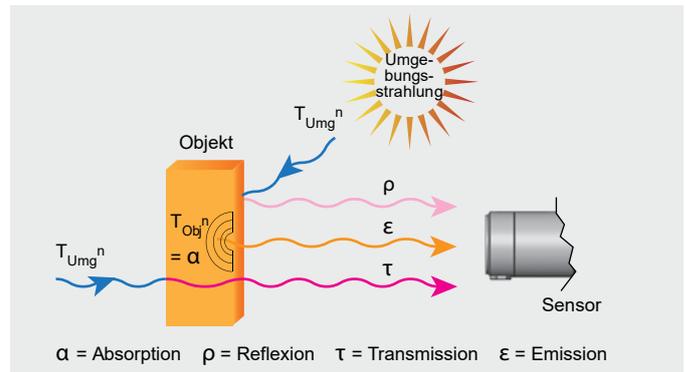
1,1 ... 1,7 μm , 2 ... 2,5 μm y 3 ... 5 μm .

Otros parámetros que pueden influir son las posibles fuentes de radiación térmica en el entorno del objeto a medir. Para evitar dichos valores de medición alterados por las altas temperaturas ambiente (p. ej. al medir la temperatura en metales en hornos industriales con paredes del horno más calientes que el objeto a medir), se efectúa ya en el dispositivo de medición infrarroja una compensación ajustable de la influencia de la temperatura ambiente. Los resultados de medición más precisos se alcanzan mediante un segundo cabezal de medición de temperatura para compensar automáticamente la temperatura ambiente y ajustar correctamente la emisividad.



Grado de transmisión espectral de aire (1 m, 32 °C, 75 % h. r.)

El polvo, humo y materias en suspensión en la atmósfera pueden ensuciar la lente y así alterar los resultados de medición. Los sistemas de purga de aire (enroscable al cabezal con conexión de aire comprimido) impiden la acumulación de materias en suspensión ante la lente. Los accesorios de enfriamiento de aire y agua permiten el uso de termómetros de infrarrojos incluso bajo condiciones ambientales difíciles.



Compensación de la radiación ambiente

Determinación experimental de emisividades

En el apéndice se incluyen los datos de emisión para diversos materiales de valores medidos indicados en la literatura técnica y derivados. Si se desea determinar la emisividad por sí mismo(a), existen varios métodos para este fin.

Método 1: Con un termopar:

Con un termosensor con contacto se determina, al mismo tiempo que se mide la radiación, la temperatura verdadera de la superficie en un punto. Después se ajusta la emisividad de modo que la temperatura medida por el dispositivo de medición infrarroja coincida con el valor medido por el termopar. El termosensor con contacto requiere un buen contacto térmico y una disipación reducida de calor.

Método 2: Confección de un cuerpo negro con otro cuerpo de prueba hecho del mismo material a medir:

En los materiales con una buena conducción del calor se le puede hacer un taladro, cuya relación del diámetro y la profundidad sea $\leq 1/3$. Así, este taladro consigue tener el efecto aprox. de un cuerpo negro con una ϵ cerca de uno. Debido a las propiedades ópticas del dispositivo y la distancia de medición hay que conseguir que el dispositivo de medición apunte sólo al fondo del taladro durante la medición. Después se configura la emisividad.

Método 3: Con una emisividad de referencia:

En el objeto a medir se coloca una pegatina o un color con una emisividad conocida. Esta emisividad se ajusta en el dispositivo de medición infrarroja, y la temperatura de la pegatina se mide. Luego se efectúa la medición junto a este punto de referencia, la emisividad se deberá ajustar para este fin hasta medir la misma temperatura que en la pegatina o color. Hecho esto se puede determinar la emisividad.

Calibrado de termómetros de infrarrojo ^[1] ^[2]

Los termómetros infrarrojos se calibran con la ayuda de cuerpos negros. Estas fuentes de radiación pueden generar diferentes temperaturas con alta estabilidad (véase también página 5, apartado “Cuerpo negro”).

Para el proceso de calibrado es importante conocer el valor exacto de la temperatura de radiación. El valor se mide con un termómetro de contacto o con un termómetro de radiación estándar de referencia y se utiliza después para determinar las constantes para la primera calibración de los sensores de infrarrojo. Para una calibración posterior por parte del cliente o en un laboratorio local, las temperaturas de calibrado deberán estar en el entorno de las temperaturas constatadas en su aplicación respectiva.

Optris usa el termómetro de radiación estándar de referencia LS-PTB (véase imagen), basado en el termómetro de infrarrojo portátil optris® LS, para medir la temperatura de radiación de las fuentes de referencia. Como el LS-PTB está referenciado a la escala internacional de temperatura de 1990 (ITS-90), se calibra regularmente por el Instituto Nacional de Metrología Alemán PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt).

La ITS-90 es una excelente aproximación a la temperatura termodinámica. Se basa en 17 puntos fijos bien reproducibles, como p. ej., los puntos de fusión de metales puros. Dentro del marco de la ITS-90 se compara el LS-PTB, dentro de una cadena cerrada de mediciones referenciadas y con un error conocido, con las normas de temperatura nacionales que la rigen el PTB.



Certificados del PTB

Optris produce, tomando como base el LS-PTB, los modelos LS-DCI como termómetro de infrarrojo de referencia de alta precisión para el cliente. Los dispositivos DCI se producen con componentes preseleccionados para garantizar máxima estabilidad de la medición. Combinado con una calibración específica en tres puntos de calibrado, el LS-DCI es capaz de medir con más precisión en estos puntos de referencia.



optris® LS-PTB

Emisividad y medición de la temperatura



Estación de calibrado automatizada en la compañía Optris GmbH

La lente de los termómetros infrarrojos se describen generalmente mediante el coeficiente de la distancia al campo de medición (E:M o D:S). En función de la lente, el termómetro de infrarrojo recibe, no obstante, también cuotas de radiación fuera del campo de medición específica. El valor máximo corresponde así a la radiación emitida por la fuente de radiación hemisférica (semiespacio). El cambio respectivo de la señal en relación con el cambio de magnitud de la fuente de radiación se describe mediante el factor entorno (SSE: Size-of-Source Effect).

Por este motivo, todos los fabricantes de termómetros de infrarrojo utilizan geometrías definidas para calibrar, o sea, en función del diámetro del orificio de la fuente de radiación se determina una distancia respecto al cuerpo de referencia. En la documentación técnica se puede ver que, para el tamaño del campo de medición de los dispositivos, se indica un valor porcentual definido del pico nombrado antes – generalmente un 90 % o un 95 %, respectivamente.

Optris GmbH dispone de propios laboratorios modernos. Al elaborar los certificados de calibración se protocoliza, junto a la temperatura ambiente y humedad del aire del laboratorio de calibración, también la distancia de medición y el orificio del cuerpo (geometría de calibración).

Óptica, tecnología de visión y electrónica

Estructura constructiva de termómetros de infrarrojo

Los termómetros de infrarrojo se elaboran en un gran número que se distinguen entre ellos en la lente, electrónica, tecnología, tamaño y carcasa. No obstante, en común tienen la cadena de procesamiento de señales, en la que hay al principio una señal de radiación infrarroja y al final una señal de salida de temperatura digital.

Lentes y ventanas

Al inicio de la cadena de medición hay un sistema óptico que consta, en la mayoría de los casos, de una lente. Esta lente capta la energía infrarroja emitida por un punto a medir y la enfoca en un detector. Al realizar las mediciones es importante que el objeto a medir sea más grande o igual al campo visual del sensor, porque sino se alterará el valor medido. La relación de la distancia describe el tamaño del punto a medir para una separación determinada. Se ha definido como E:M – la relación de la distancia de medición (separación del dispositivo de medición al objeto a medir) al diámetro del punto a medir. La resolución óptica es mejor con relaciones de mayor magnitud.

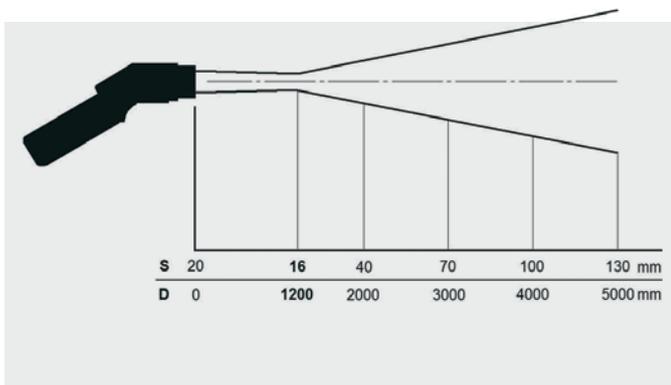
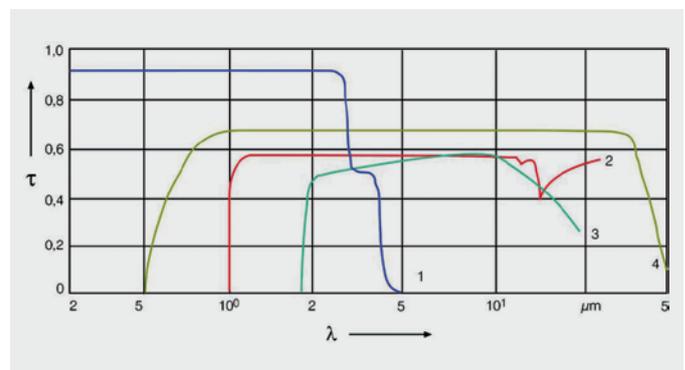


Diagrama óptico de un sensor de infrarrojo

Las lentes de infrarrojo se pueden usar, por lo tanto, según su material sólo para rangos determinados de longitud de onda. En la imagen siguiente se representan lentes y materiales de ventanas típicos para termómetros de infrarrojo con sus rangos de longitud de onda.



Transmisión de materiales infrarrojos típicos (1 mm de espesor) 1 Vidrio, 2 Germanio, 3 Silicio 4 KRS₅

Para algunas mediciones, como p. ej. en recipientes de reacción cerrados, hornos o cámaras de vacío, generalmente se ha de medir a través de una ventana de medición adecuada. Los valores de transmisión de la ventana deberán adaptarse a la sensibilidad espectral del sensor a la hora de seleccionar su material. Vidrio de cuarzo: es apto para su empleo a altas temperaturas de medición y a temperaturas bajas. En el sector de 8 a 14 μm se deberán utilizar materiales específicos permeables al infrarrojo, como germanio, AMTIR o seleniuro de cinc. Al seleccionar la ventana se deberán considerar también los siguientes parámetros: diámetro de la ventana, requisitos de la temperatura, diferencia máxima de presión. Para una ventana de 25 mm de diámetro, que tiene que resistir una diferencia de presión de una atmósfera, es suficiente p. ej. un espesor de 1,7 mm. Para alinear el sensor al objeto a medir (p. ej. en el recipiente al vacío) puede resultar útil el empleo de materiales de ventana que son transparentes también en el sector visible.

Óptica, tecnología de puntero y electrónica

Material de ventanas / Propiedades	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaF ₂	BaF ₃	AMTIR	ZnS	ZnSe	KRS ₅	GE	Si
Rango recomendado de longitud de onda infrarroja in μm	1 ... 4	1 ... 2,5	2 ... 8	2 ... 8	3 ... 14	2 ... 14	2 ... 14	1 ... 14	2 ... 14	1,5 ... 8
Temperatura máx. de ventanas	1800	900	600	500	300	250	250	s. i.	100	250
Transmisión en el sector visible	sí	sí	sí	sí	no	sí	sí	sí	no	no
Resistencia a la humedad, ácidos y combinaciones de amoníaco	muy buena	muy buena	poca	poca	buena	buena	buena	buena	buena	muy buena
Apropiado para vacío ultraalto	sí	sí	sí	sí	s. i.	sí	sí	sí	sí	sí

La tabla muestra diversos materiales de ventanas en resumen.

Las ventanas con capas antirreflejo poseen una transmisión considerablemente más alta (hasta un 95 por ciento). La pérdida de transmisión puede corregirse junto con el ajuste de la transmisión en la ventana, siempre y cuando el fabricante haya indicado la transmisión para el rango correspondiente de longitud de onda. En otro caso, se puede determinar experimentalmente con el termómetro de infrarrojo con el que se está midiendo y un cuerpo comparativo.

Últimas tendencias en la tecnología de visión

Los nuevos principios de medición y tecnologías de visión permiten una aplicación más precisa de dispositivos de medición de la temperatura por infrarrojo. Los productos desarrollados del sector de láser de estado sólido se adaptan marcando los tamaños del punto a medir con ayuda de disposiciones láser múltiples. Para este fin los tamaños verdaderos del punto a medir se indican en el campo del objeto, p. ej., por medio de tecnologías de puntero de láser cruzado. En otros dispositivos, los chips de cámara vídeo sustituyen los costosos sistemas ópticos de visión.

Desarrollo de lentes de alto rendimiento en combinación con tecnologías de visión de láser cruzado

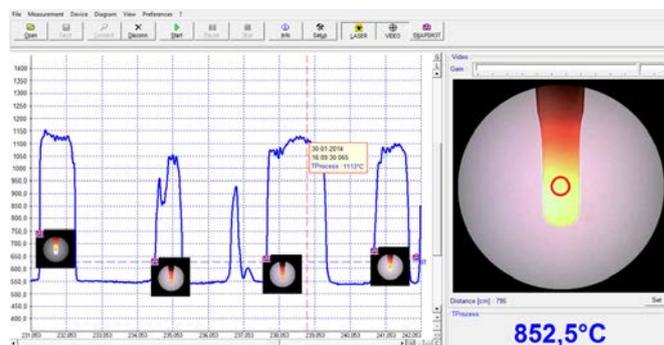
Los termómetros de infrarrojo portátiles, simples y económicos emplean punteros láser de un punto, para marcar el centro del punto a medir con un cierto error de paralelismo. El usuario asume en este caso la evaluación del tamaño del punto a medir con ayuda del diagrama del punto a medir y de la distancia estimada.

Si el objeto a medir ocupa sólo una parte del punto a medir, se representarán los incrementos de temperatura sólo como valor medio entre la parte de superficie caliente y la parte fría que rodea esta superficie. Si, por ejemplo, una unión eléctrica, debido a un contacto oxidado, tiene una resistencia óhmica más alta y se calienta, por lo tanto, de modo no admisible, se representará este hecho, en el caso de objetos pequeños y puntos a medir demasiado grandes, sólo como un calentamiento insignificante, de tal modo que no se podrán detectar situaciones potencialmente peligrosas.

Para visualizar puntos a medir en su tamaño correcto, se han introducido punteros ópticos, que tienen una marcación de tamaños en su retículo cruzado; permiten apuntar con precisión. Los pirómetros láser son considerablemente más cómodos y seguros en su manejo y, por lo tanto, se usan con ayuda de tecnologías de iluminación láser para visualizar el tamaño del punto a medir, independientemente de la distancia, según los coeficientes representados en el diagrama del punto a medir.

Los dos rayos láser curvados y que parten de la lente describen aprox. el estrechamiento del rayo de medición, o de su ensanchamiento a distancias grandes. Sin embargo, la indicación del diámetro del punto a medir se efectúa en este caso sólo con dos puntos en su perímetro. A causa del diseño cambia la posición del ángulo de estos puntos láser en el círculo de medición, lo que define la función del puntero.

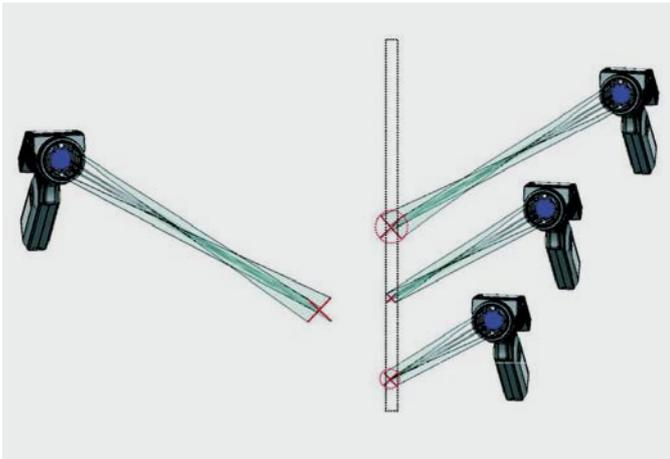
Los pirómetros vídeo constituyen productos perfeccionados que permiten una marcación precisa del campo de medición, utilizando al mismo tiempo un módulo vídeo y un puntero de láser cruzado.



El software Compact Connect ofrece múltiples opciones de ajuste para pirómetros vídeo

El principio de la retícula cruzada

Mediante empleo de tecnologías nuevas de iluminación láser se ha conseguido representar puntos a medir con termómetros de infrarrojo como retícula cruzada con el tamaño correcto, cuyas dimensiones corresponden exactamente al punto a medir.



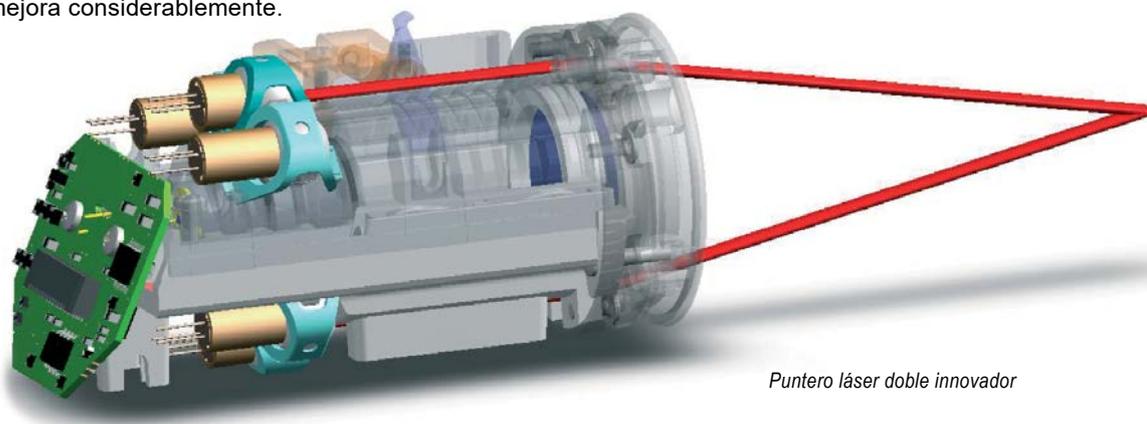
Termómetro de infrarrojo con puntero de láser cruzado para una marcación exacta del campo de medición

Para este fin los cuatro diodos láser, dispuestos simétricamente alrededor del canal de medición con óptica IR, se dotan de generadores lineales, que generan una línea con una longitud definida dentro de la distancia del punto focal determinada por la lente. Los generadores lineales opuestos en parejas se superponen en el punto focal por completo, las líneas láser proyectadas por ellos, de tal modo que se genera una retícula cruzada o de medición, que describe exactamente el diámetro del punto a medir. En caso de distancias de medición más cortas o largas, esta superposición se efectúa sólo en parte, de modo que, para el usuario, cambia la longitud de la línea y, por eso, el tamaño de la retícula de medición. Con ayuda de esta tecnología es posible así, por primera vez, registrar claramente las dimensiones precisas del punto a medir. Así, la utilidad práctica de los dispositivos con una alta capacidad óptica mejora considerablemente.

La inversión del punto focal

Además de las distancias de medición óptimas en el sector de mantenimiento eléctrico y en el control de los procesos de calidad industriales de aprox. 0,75 a 2,5 metros. Con frecuencia se desea registrar objetos considerablemente más pequeños a una distancia más corta. Por este motivo se han desarrollado dispositivos de medición que permiten un enfoque dentro de determinados límites. No obstante, siempre ha sido un desafío técnico generar en estos casos puntos a medir por debajo de un milímetro.

Los productos recientes utilizan desde ahora una tecnología para la que se puede convertir una óptica de doble lente mediante ajuste mecánico de la posición interior de la lente – de modo similar a una imagen macro en los aparatos fotografía digitales –, para puntos a medir muy pequeños. Es el resultado de medir un punto pequeño, pero sólo a una distancia constante. Al acercarse al objeto a medir o al alejarse del mismo, el punto a medir aumentará de tamaño rápidamente. Con ayuda de dos rayos láser cruzados, que se superponen con precisión en la posición más pequeña del punto a medir y, por lo tanto, fusionan en un punto, se consigue representar tanto una distancia como también un tamaño del punto a medir óptimos. La imagen de más abajo muestra el sistema óptico de un termómetro de infrarrojo moderno, en el que se puede ajustar la posición de la lente y, al mismo tiempo, los diversos sistemas de iluminación láser garantizan una visualización en el tamaño correcto del punto a medir.



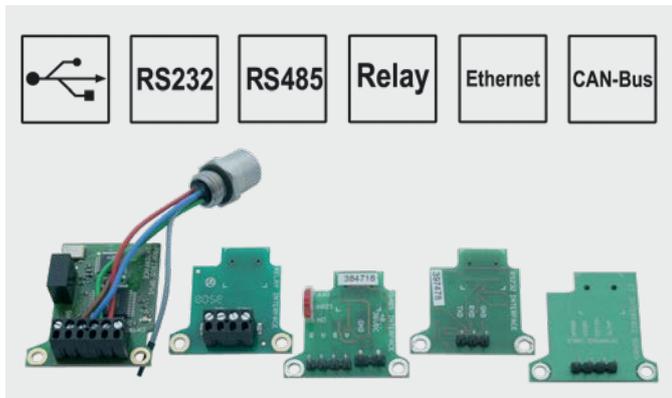
Puntero láser doble innovador

Óptica, tecnología de puntero y electrónica

La electrónica

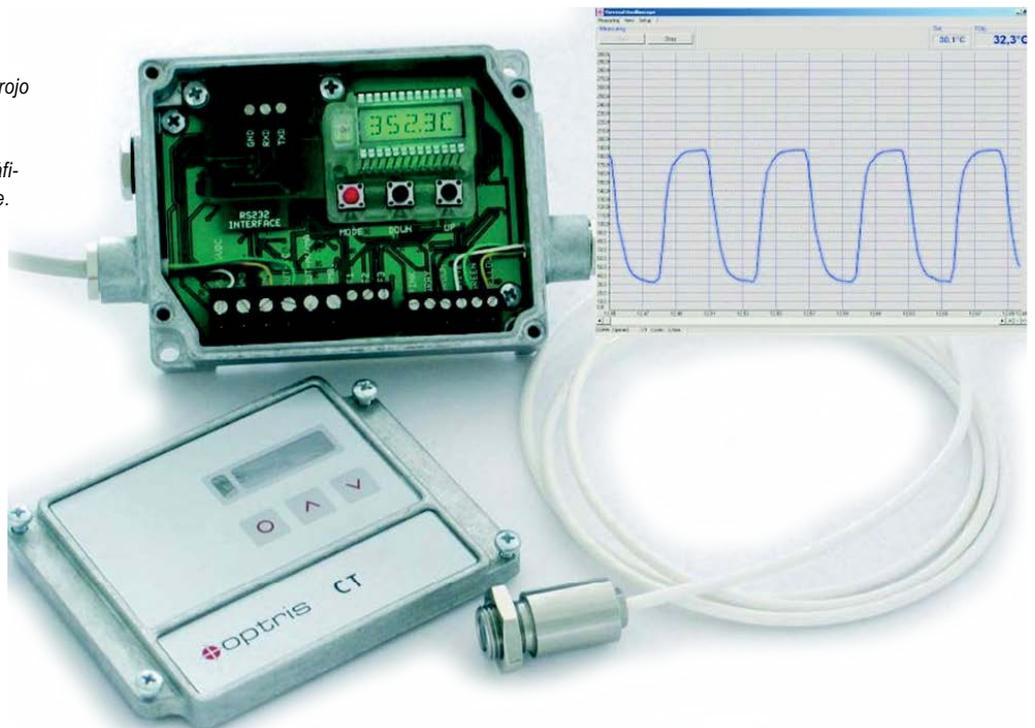
Indicaciones, salidas e interfaces

La electrónica de un termómetro de infrarrojo hace lineal la señal de salida del detector, para generar por último una señal de corriente lineal 0/4 – 20 mA o una señal de tensión 0 – 10 V. Esta señal se muestra en los dispositivos portátiles de infrarrojo como valor de temperatura directamente en la pantalla LCD. Además, los dispositivos portátiles ofrecen, como los sensores estacionarios, diversas salidas e interfaces para el procesamiento posterior.



Salidas e interfaces (analógicas y digitales), como imagen ejemplo: módulos de interfaz enchufables y digitales de la caja electrónica

Las salidas de datos de termómetros de infrarrojo pueden conectarse directamente a ordenador, laptop o registrador de valores medidos. Con software de ordenador se pueden elaborar gráficos y tablas según especificaciones del cliente.



Ejemplos de salidas e interfaces de termómetros de infrarrojo

Los sistemas industriales del bus de campo juegan un papel cada vez más importante. Ofrecen al usuario más fiabilidad y menos cableado. Si se cambia el producto en la línea de producción se pueden ajustar a distancia los parámetros modificados del sensor (p. ej. emisividad, rango de medición o valores límite).

Así se garantiza un control y mando continuado de los procesos con un empleo mínimo de mano de obra, incluso en puestos de acceso difícil. Si se produce un fallo, p. ej. interrupciones de cable, fallo de componentes, aparece automáticamente un mensaje de error.

Otra ventaja más de los termómetros de infrarrojo con interfaz digital, es la opción de calibración de campo con el software de calibración disponible del fabricante del dispositivo.

Termómetros infrarrojos y aplicaciones

La medición de la temperatura sin contacto con termómetros de infrarrojos es un método de alto rendimiento para observar, evaluar y controlar temperaturas de procesos, así como para realizar el mantenimiento preventivo de máquinas y plantas industriales. En función de la aplicación, se seleccionan termómetros de infrarrojo portátiles o sensores de infrarrojo estacionarios que se dividen, a su vez, en dispositivos de medición de puntos e imágenes.

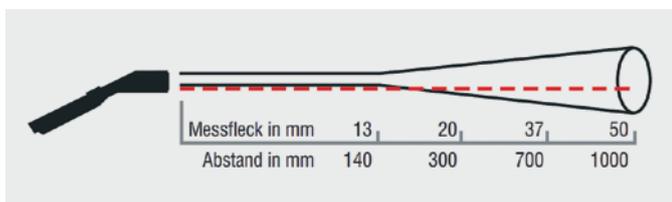


Termómetros de infrarrojo portátiles

En principio se emplean los termómetros de infrarrojo portátiles para mantenimiento e inspección preventivos en instalaciones eléctricas, máquinas rotatorias, así como de útil de diagnóstico en la técnica de calefacción, climatización y ventilación y para el análisis rápido de errores en el sector de vehículos – como se describe a continuación –.

Tanto para interior o exterior, con sol o lluvia, o temperaturas que no sean constantes, los dispositivos están contruidos para su empleo bajo condiciones industriales duras, p. ej. el optris® MS LT es resistente, muy ligero y con un diseño cómodo y manejable a distancia. Se puede llevar tanto en el bolsillo de la chaqueta como en el maletín de herramientas, o fijar al cinturón y, por lo tanto, está siempre a mano para una inspección rápida.

Las temperaturas de -32 a 530 °C se pueden registrar en un tiempo de medición de tan sólo 0,3 seg. con una precisión de un ± 1 por ciento o ± 1 °C. Con el láser integrado se apunta el objeto a medir, con tan sólo pulsando un botón aparece el valor de la temperatura con una resolución de $0,1$ °C en la pantalla. Una señal de alarma señaliza si se excede o no se



Relación de distancia al tamaño del punto a medir 20:1

llega a un valor límite determinado (función MAX/MIN), de tal modo que es posible explorar sistemáticamente el objeto a medir y localizar rápidamente la fuente de error.

La nueva lente de cristal de precisión permite medir objetos muy pequeños. Si es posible acercarse al objeto a medir hasta a 14 cm, el punto a medir será de sólo 13 mm. A partir de ahí aumenta el punto a medir. A un metro de distancia (E), la temperatura se registra sobre una superficie de medición (M) de 50 mm de diámetro, es decir, la resolución óptica E:M es de 20:1.

1. Aplicaciones típicas para mantenimiento y conservación

A simple vista no se pueden detectar prácticamente defectos en instalaciones de conmutación, fusibles, motores o conexiones eléctricas. No obstante, sabemos que cualquier equipo que usa electricidad o transmite potencia mecánica se calienta antes de un fallo. El control de la temperatura sin contacto constituye en este caso un instrumento importante para el mantenimiento preventivo, con el fin de garantizar un funcionamiento fiable de las plantas industriales.

Los termómetros portátiles optris® LS LT son útiles ideales, por su diámetro pequeño del punto a medir de 1 mm y tecnología de puntero de láser cruzado, para una medición rápida de la temperatura a diario en muchos objetos a medir en las empresas.

- Mediciones de la temperatura en maquinaria y equipos de difícil acceso o rotatorias, o en conexiones eléctricas de electromotores
- Detección de puntos de apriete o uniones de apriete sueltos
- Localización de defectos ocultos en canales de cables
- Control de fusibles y desconectores
- Comprobación de plantas de baja y media tensión
- Búsqueda de sobrecargas unilaterales y asimetrías en la distribución de energía
- Medición de transformadores o pequeños componentes



Termómetros de infrarrojo portátiles Optris

Termómetros de infrarrojo y aplicaciones

Medición de la temperatura en contactos

En la transmisión de potencias importantes eléctricas se pueden observar con frecuencia distribuciones de carga asimétricas y sobrecalentamientos en los contactos de barras colectoras. Lo que puede conllevar problemas en la seguridad. Los contactos sueltos, causados por movimientos mecánicos del material, debidos a calentamientos y enfria-



Medición detallada de la temperatura por infrarrojo en un control eléctrico con ayuda de la lente de punto focal integrada del optris® LS LT en el rango de 1 milímetro.

mientos cíclicos, contraponen a la corriente una resistencia mayor. Se consume más potencia y genera más calor. También la suciedad y corrosión pueden causar resistencias de paso más altas. De las diferencias de temperatura frente a contactos con la misma carga, así como de la temperatura ambiente se pueden sacar conclusiones sobre el estado de servicio. 10°C de diferencia es una conexión deficiente, y con 30°C ya es crítica.

Comprobación de transformadores

Para transformadores que indican una temperatura de servicio máxima admisible. Si el calentamiento es inadmisibile mientras se miden las bobinas en el transformador de aire, significa que hay un fallo. La causa del error puede ser la bobina misma o también la carga diferente de las fases.

Localización de cables defectuosos

Mediante escaneado rápido con termómetros de infrarrojo se pueden localizar los defectos "invisibles" en cables. El incremento de temperatura señala cual es el que tiene más corriente. En estos puntos calientes se puede comprobar la presencia de roturas, corrosión o envejecimiento de los cables.

2. Aplicaciones típicas en la técnica de calefacción, climatización y ventilación

Los espacios expuestos a corrientes o un ambiente deficiente se deben con frecuencia a unidades de calefacción, climatización o ventilación defectuosas o con funcionamiento irregular. Los técnicos de climatización acuden para localizar lo antes posible las fuentes de error y evitar una desconexión no prevista. Esta tarea costaba mucho tiempo y dinero según el método utilizado. Para detectar fugas en canales obturados, o serpentines de refrigeración helados se tenían que taladrar con frecuencia los canales de aire. Los termómetros introducidos necesitaban tiempo para estabilizarse antes de medir la temperatura del aire en el canal. El empleo de termómetros láser portátiles facilita el trabajo y ahorra tiempo y dinero. A una distancia segura se pueden medir con todo confort, rapidez y precisión las temperaturas superficiales de los componentes. La escalera puede quedarse tranquilamente en el taller.



Comprobación de la temperatura en circuitos de calefacción

Un manejo simple, resultados de medición seguros y, sobre todo, un diseño resistente son los requisitos que han de cumplir los nuevos dispositivos de medición para los técnicos de calefacción y climatización.

El optris® LS LT sirve para:

- Buscar aislamientos defectuosos
- Encontrar fugas en calefacciones de suelo
- Comprobar quemadores de calefacciones por fuel-oil o calderas de gas
- Medir intercambiadores de calor, circuitos de calefacción y sus distribuidores
- Localizar fugas en canales
- Comprobar exclusiones de aire y válvulas de seguridad
- Ajustar termostatos o climatizadores

Control de los conductos de aire

Los puntos de conexión de los canales de aire son a menudo fuentes de error. Por un lado, transmiten vibraciones a los puntos de unión, por otro lado, se pueden soltar los puntos de unión debido a la dilatación y contracción continuas debidas al flujo de aire caliente y de las conducciones. Las fijaciones producidas pueden conllevar una carga excesiva del grupo climatizador y acortar su vida útil. En los controles regulares de los canales con termómetros de infrarrojo se pueden constatar oscilaciones de la temperatura (subida o bajada) que indican fugas, fijaciones o aislamientos deficientes.

Comprobación de las salidas de entrada y escape de aire

Midiendo las diferencias de temperatura entre la entrada y escape de aire se pueden sacar conclusiones sobre los puntos de error. Al enfriar son normales diferencias entre 10 y 12 °C. Los valores superiores a 12 °C podrían deberse a una corriente de aire demasiado pequeña y, por lo tanto, al respectivo refrigerante frío. Los valores más bajos señalan que el refrigerante está bloqueado en los serpentines de refrigeración. En los equipos de calefacción son típicas las diferencias entre 15 y 40 °C. Oscilaciones mayores se deben posiblemente a filamentos sucios o averías en el intercambiador de calor.

Comprobación de quemadores

En calefacciones por fuel-oil o en calderas de gas es posible también comprobar los quemadores midiendo la temperatura por infrarrojo. Con los valores medidos se pueden deducir las fuentes de error existentes. Las temperaturas demasiado altas se pueden deber a un intercambiador de calor obstruido o a superficies ensuciadas en el lado de la llama.

3. Aplicaciones típicas en el diagnóstico de vehículos

Tanto en la inspección de vehículos como en el circuito de carreras, el factor decisivo es poder localizar rápidamente y eliminar en poco tiempo las fuentes de errores. Para evitar el cambio a prueba de piezas caras, se van a presentar aquí algunos ejemplos de aplicación de la medición de la temperatura sin contacto: Diagnóstico

- de averías de motores,
- de sobrecalentamientos en el catalizador,
- en el sistema de inyección,
- en el aire acondicionado,
- en el sistema de refrigeración o
- en el sistema de frenos.

Comprobación del funcionamiento de frenos y neumáticos

Para constatar la causa de un frenado no uniforme, se conduce el coche por un trayecto recto y frena. Hecho esto, se mide de inmediato la temperatura del disco de freno o del tambor de freno. Si hay grandes diferencias de temperatura, las pinzas-soporte o los émbolos de las pinzas-soporte que tienen un asiento fino o pesado.

Comprobación de la calefacción

Con el motor caliente se mide la temperatura del refrigerante en la manguera del refrigerante superior. Si la temperatura es mucho más baja que 95 °C, es posible que el termostato no cierre. Luego se miden las temperaturas de entrada y salida de las mangueras en la pared de inyección. Una temperatura aumentada unos 20 °C en la entrada es normal. Pero si la manguera de salida estuviera fría, no fluye el refrigerante por la calefacción. El intercambiador de calor de la calefacción está obstruido o la corredera de regulación de la calefacción está cerrada.

Diagnóstico del sistema de refrigeración

El motor está demasiado caliente, pero no se puede encontrar una fuga en el sistema de refrigeración. La causa podría ser un bloque de refrigeración obstruido, un sensor del ventilador averiado, un termostato o una rueda desgastada en la bomba del refrigerante.

Con el termómetro portátil IR se han excluido ya como fuente de error el radiador, el sensor de temperatura del refrigerante



Comprobación del sistema de calefacción

y el catalizador. El termostato se comprueba como sigue. El motor se tiene que calentar en marcha rápida en vacío. Luego se mide la temperatura de la manguera del refrigerante superior, así como de la caja del termostato. En cuanto el motor haya alcanzado una temperatura de servicio de 80 a 105 °C, el termostato se abre y se debería indicar una subida de temperatura en la manguera del refrigerante superior. Si los valores se mantienen constantes, no fluye refrigerante y el termostato se localiza como fuente de error.

Ventajas de los termómetros portátiles IR en resumen:

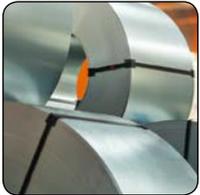
- Manejo sencillo
- Funcionamiento sin contacto y suministro de resultados precisos en segundos
- Inspecciones sin riesgo en componentes calientes o de difícil acceso o bajo carga
- Localización de fuentes de error sin sustituir componentes
- Detección de puntos débiles, antes de ser problemáticos
- Ahorro de tiempo y dinero

Termómetros de infrarrojo y aplicaciones

Termómetros de infrarrojo estacionarios

Al contrario de los termómetros portátiles, se emplean los sensores fijos de temperatura IR con frecuencia para asegurar la calidad de las líneas de producción. Además de la medición de la temperatura sin contacto e indicación de los datos de medición se pueden también controlar las temperaturas de procesos.

La amplia gama de opciones para adaptar los sensores de temperatura IR a la aplicación de medición permite tanto un equipamiento sin problemas en plantas de producción existentes, como también la dotación a largo plazo de plantas nuevas en colaboración estrecha con clientes OEM en la construcción de maquinaria. Se pueden encontrar aplicaciones múltiples:



Industrial del metal



Plástico



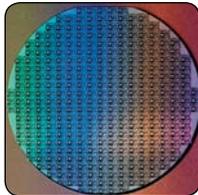
Papel



Vidrio



Proceso de soldadura láser



Componentes electrónicos



Industria automotriz



Medicina



Producción de alimentos

1. Medición de la temperatura en el temple por inducción



Los dispositivos optris® CTlaser 1M/2M/3M son ideales para su empleo en el temple por inducción

Hoy en día juega el tratamiento térmico un papel importante en el tratamiento de metales. Mediante el tratamiento térmico específico de metales se pueden cambiar las propiedades como resistencia a la corrosión, magnetismo, dureza, ductilidad, resistencia a la abrasión y rotura.

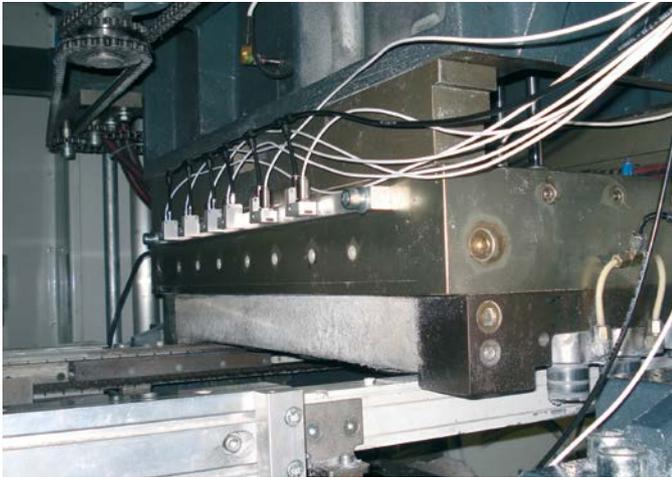
Una variante del tratamiento térmico es el temple por inducción. Para este fin se lleva un componente a un campo de inducción electromagnética fuerte, así se calienta y se congela la estructura deseada. Mediante control de la frecuencia es posible ajustar localmente la profundidad de penetración del calor en el metal y así tratar áreas determinadas del componente. La estructura que se pretende conseguir de la textura del metal depende de un ciclo ideal de temperatura y tiempo. Por ello, es importante vigilar permanentemente la temperatura.

Debido a las fuertes cargas electromagnéticas, el optris® CTlaser 1M, 2M ó 3M es particularmente ideal para este fin porque la electrónica está alejada del cabezal con su lente y así queda protegida.



optris® CTlaser

2. Control de procesos en termoformado



Cabezal de sensado pequeño optris® CT LT con sistema de purga de aire laminar en una máquina de termoconformado

Los elaboradores de plásticos producen una amplia gama de productos plásticos de diferentes dimensiones, espesores, texturas, colores y muestras estampadas.

Para este fin la fabricación de productos está expuesta a numerosos procesos térmicos. Si se conocen los puntos críticos en el proceso, se emplean termómetros de infrarrojo para medir y regular la temperatura.

Una aplicación importante es la integración en máquinas de termoformado. En el termoformado se calienta el material inicial con radiadores y se homogeneiza térmicamente. Una alta homogeneidad por la superficie y un ajuste correcto de la temperatura de conformación conllevan resultados de excelente calidad.

Para el control del perfil de la temperatura se instalan, p. ej., los termómetros de infrarrojo optris® CT LT en una línea en la salida de la zona calentamiento y así visualizan posibles gradientes de temperatura.



Cabezal de sensado optris® CT LT

3. Control de la temperatura de banda de papel y encolado en la producción del cartón



Medición de la temperatura por infrarrojo en la producción de papel y cartón

Las altas velocidades de producción de bandas de papel con modernas máquinas laminadoras requieren un control preciso y rápido de la temperatura, del producto de encolado y del producto base a laminar. Sólo observando estrictamente los coeficientes de temperatura determinados por la tecnología entre los componentes del producto se consigue una laminación exacta y que no se deforma.

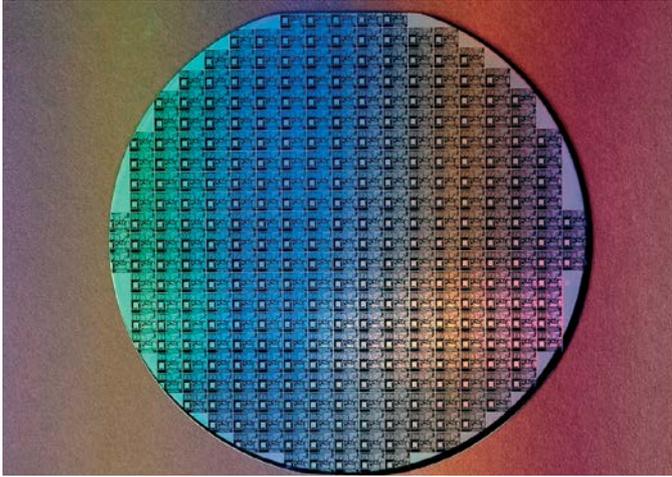
La vigilancia de la temperatura y el control de la temperatura de superficie plana con sensores de temperatura de infrarrojo miniaturizados de Optris en puntos de medición difícil transversalmente a la banda en el rodillo prensa y en el rodillo de encolado, garantizan una alta uniformidad del laminado. Los dispositivos de purga de aire y limpieza en la sonda óptica de los sensores de infrarrojo permiten una medición sin mantenimiento. La evaluación inteligente de las señales de los sensores de infrarrojo en el borde del curso de la banda es garantía, además, de un control posterior geométrico del dispositivo de encolado.



optris® CSmicro

Termómetros de infrarrojo y aplicaciones

4. Medición de la temperatura en elementos constructivos electrónicos durante la prueba de funcionamiento



Medición de la temperatura por infrarrojo en plaquitas y componentes electrónicos

Los fabricantes de elementos constructivos electrónicos y placas de circuitos impresos usan cada vez más la medición de la temperatura sin contacto para incrementar su productividad, así como para registrar y controlar el comportamiento térmico de sus productos.

Con ayuda de cámaras de infrarrojo es posible realizar un análisis detallado en tiempo real del comportamiento térmico de placas de circuitos impresos, tanto en el sector R&D como también en la producción en serie. Bajo determinadas circunstancias y debido al alto número de piezas producidas y de puestos de test y prueba resulta el empleo de cámaras termográficas de infrarrojo en varias estaciones demasiado caro o costoso. En estos casos es ideal el control de la temperatura de elementos constructivos críticos en plantas de producción mediante sensores de temperatura de infrarrojo miniaturizados *optris® CT LT*. Así se registran los componentes críticos, que – en una producción en serie – se pueden clasificar reproducibles desde el lugar de medición (posición sobre placa de circuitos impresos), por un sensor de temperatura de infrarrojo, y la medición de la temperatura se aporta a la rutina de posición de pruebas para tomar las medidas necesarias. Para este fin se pueden registrar con un cabezal de sensor del *optris® CT LT* los puntos a medir más pequeños de hasta 0,6 mm.



optris® CT caja electrónica

5. Control de la temperatura del producto en procesos de corte y soldadura láser



Medición de la temperatura por infrarrojo en soldadura láser

Los procedimientos de soldadura y separación por láser representan una tecnología eficiente y práctica de última generación. En estos procedimientos se aprovechan las ventajas de la precisión del rayo láser y de su alta densidad energética. Al mismo tiempo, la mayor precisión de corte o soldadura y el tiempo de espera más corto a una temperatura simultáneamente más alta son factores decisivos para la calidad de la manipulación de productos y, por lo tanto, las rutinas de compensación respectivas. La causa de cambios que disminuyen la precisión es, entre otras, la dilatación longitudinal en función de la temperatura del material.

Con los sensores de temperatura de infrarrojo miniaturizados *optris® CT LT* se puede medir rápidamente la temperatura del producto justamente en el punto de separación o soldadura y generar las señales respectivas de corrección.

Se pueden registrar puntos a medir muy pequeños de hasta 0,6 mm utilizando el *optris® CT LT* con su cabezal de sensor respectivo. Los ingenieros de producción disponen así de un sistema de medición y control de servicio continuo para el comportamiento térmico de sus productos con los siguientes resultados:

- Ajuste y carga rápidos de las plantas para cambio de lote, reducción de tiempos de marcha en vacío y materiales de prueba
- Opción de protocolo para producción de lotes
- Garantía de una calidad de producción alta y uniforme

Cámaras termográficas y aplicaciones

Lo que tienen en común cámaras de red y cámaras de infrarrojo

Ver calentamientos locales y así descubrir puntos débiles en nuestro entorno ha sido siempre fascinante en la tecnología moderna de imágenes térmicas. Tales cámaras han mejorado drásticamente su relación precio-calidad, no en último lugar por la aplicación de métodos cada vez más efectivos para la fabricación de los sensores de imágenes por infrarrojo.

Los dispositivos son más pequeños, resistentes y ahorradores de energía. Hace algún tiempo que hay sistemas termográficos de medición que requieren – como una cámara de red – sólo un puerto USB para su servicio.

Introducción

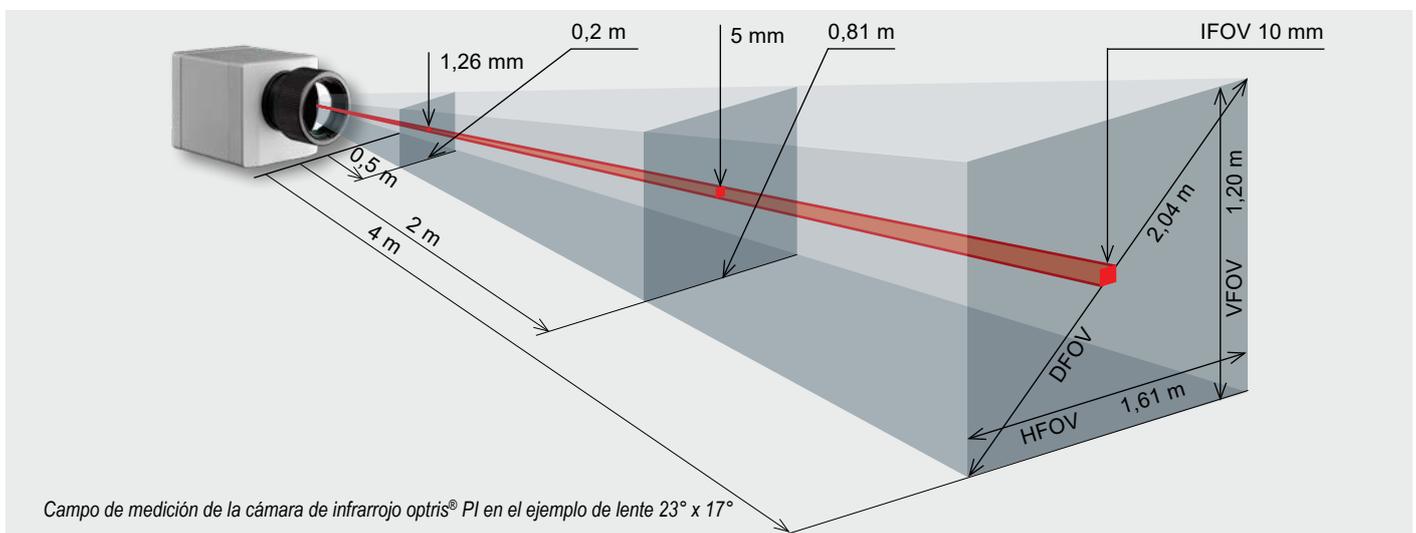
Semejantes cámaras trabajan como cámaras normal digitales: tienen un campo visual, el denominado field of view, que puede ser de 6° (tele lente) y 90° (lente de gran angular). Cuanto más lejos está el objeto, más grande es el sector registrado de imagen pero, por lo tanto, también el recorte de la imagen registrado por un píxel individual. La ventaja consiste en que la luminosidad de la iluminación es independiente de la distancia en superficie suficientemente grandes. Así, las mediciones de la temperatura son neutrales en gran parte frente a la distancia al objeto a medir. [1]

La radiación térmica puede enfocarse en el sector infrarrojo de onda larga sólo por lentes de germanio, aleaciones de germanio, sales de cinc o espejos que reflejan en superficie.



Cámara termográfica, suministrada con corriente a través de una USB de un tablet

Semejantes lentes mejoradas siguen constituyendo un factor económico considerable en cámaras termográficas frente a los objetivos en el rango espectral visible, convencionales y fabricados en grandes series. Están hechos como sistemas esféricos de 3 lentes o esféricas de 2 lentes y tienen que calibrarse para las mediciones correctas termográficamente, ante todo en cámaras con objetivos intercambiables, en cuanto a su acción en cada píxel individual.



Los tamaños del campo de medición pueden ser calculados para una distancia cualquiera en línea en: <http://www.optris.es/calculador-optico>

Cámaras termográficas y aplicaciones

El corazón de una cámara de infrarrojo es, en el mayor número de todos los sistemas termográficos aplicados a escala mundial, un focal plane array (FPA), un sensor de imagen integrado con tamaños de 20.000 a 1 millón de píxel. Cada píxel mismo es un microbolómetro con un tamaño de 17×17 a $35 \times 35 \mu\text{m}^2$. Tales receptores térmicos tienen un espesor de 150 nanómetros y se calientan por radiación térmica en el plazo de 10 ms en aprox. un quinto de la diferencia de temperatura entre la temperatura del objeto y propia. Una sensibilidad tan alta se alcanza por una capacidad térmica extremadamente pequeña en combinación con un aislamiento excelente en relación con el entorno evacuado. El grado de absorción de la superficie receptora semitransparente se incrementa con la fuente de luz siguiente mediante la onda de luz dejada pasar por interferencia y luego refleja sobre la superficie del chip de silicio. [3]

A fin de aprovechar este efecto de interferencia propia se ha de posicionar la superficie existente del bolómetro, hecha de óxido de vanadio o silicio amorfo, por medio de técnicas especiales de ataque, a una distancia de aprox. $2 \mu\text{m}$ del circuito de conmutación selectiva. La detectividad específica según superficie y anchura de banda de los FPAs descritos aquí alcanza valores alrededor de $10^9 \text{ cm Hz}^{1/2}/\text{W}$. Por lo tanto, es superior en una orden de magnitud frente a otros sensores térmicos, que se emplean p. ej. en pirómetros.

Con la temperatura propia del bolómetro cambia, a su vez, su resistencia, que se transforma en una señal de tensión eléctrica. Los convertidores rápidos A/D de 14 bit digitalizan la señal vídeo ampliada y serializada antes. Un procesamiento digital de señales calcula, para cada píxel individual, un valor de temperatura y genera en tiempo real las imágenes de colores falsos conocidas. Las cámaras termográficas

necesitan una calibración bastante costosa, durante la cual se asignan una serie de parámetros de sensibilidad a cada píxel a diversas temperaturas del chip o cuerpo negro. A fin de aumentar la precisión se termostatan los FPAs del bolómetro a temperaturas definidas y con alta precisión de regulación.

Gracias al desarrollo de laptops, UMPCs, notebooks y tablets cada vez más potentes, pequeños y, al mismo tiempo, más económicos, es posible desde hace poco, utilizar su(s)

- pantallas grandes para representar imágenes térmicas,
- pilas de ión-litio para el suministro de corriente,
- capacidad de cálculo para representación flexible y de alta calidad de señales en tiempo real,
- capacidad de memoria para grabación vídeo de imágenes térmicas prácticamente ilimitadas temporalmente, así como
- interfaces Ethernet, Bluetooth, WLAN y software para integración del sistema de termografía en el entorno de la aplicación.

La interfaz USB 2.0 estandarizada y disponible en todas partes permite así cuotas de transmisión de datos de

- 32 Hz con 640×480 píxel de resolución de imagen y de
- 120 Hz para tamaños de imagen de 20.000 píxel.

La técnica USB 3.0 es incluso apta para resoluciones de imágenes térmicas XGA de hasta 100 Hz de frecuencia vídeo. Aplicando el principio de cámara de red en el sector de termografía resultan propiedades del producto totalmente nuevas y con una relación muy mejorada entre precio/calidad.

La cámara de infrarrojo está conectada a través de la interfaz de 480 Mbaudios en tiempo real con el ordenador basado en Windows®, que asume también el suministro de corriente.



Cámaras USB de infrarrojo para transmisión de imágenes térmicas con hasta 640×480 píxel y hasta 1.000 Hz

El hardware de cámaras USB de infrarrojo

El USB se consideraba antes como puro medio de comunicación en oficinas. La difusión sumamente grande, en comparación con la de FireWire, de esta interfaz estándar ha sido punto de partida de numerosos desarrollos, que han mejorado la idoneidad industrial de la interfaz y, por lo tanto, la utilidad de terminales USB 2.0 – y en este caso, sobre todo, de cámaras USB –. Entre los que configuran:

- cables aptos para cadenas de arrastre y hasta 200 °C con longitudes de línea de hasta 10 m [4]
- Cat. 5e (Ethernet) de hasta 100 m – prolongaciones de cable con amplificadores de señal
- módems con USB ópticos de fibra óptica para longitudes de línea de hasta 10 km [5]

Debido a la amplia gama de buses USB, es posible conectar con el laptop, p. ej., cinco cámaras de infrarrojo de 120 HZ con un hub estándar por una línea Ethernet de 100 m.

Los dispositivos termográficos a prueba de agua, vibraciones y choques satisfacen la clase de protección IP 67 y, por lo tanto, son también aptos para su empleo intenso en bancos de pruebas y ensayos. 4 x 5 x 4 cm³ de tamaño y 200 g de peso reducen, para este fin los gastos para envolventes de enfriamiento y sistemas de purga de aire.

Todas las cámaras de infrarrojo, comercializadas a escala mundial, requieren regularmente una corrección de desviación de la medida, debida a la variación térmica de los bolómetros y su procesamiento de señal on-chip. Para este fin se mueve por motor una pieza metálica ennegrecida delante del sensor de imagen. Así se referencia cada elemento de imagen a la misma temperatura conocida. Mientras se calibra tal desviación, huelga decir que las cámaras termográficas son ciegas. A fin de minimizar este molesto efecto se puede iniciar, a través de un pin de mando, una corrección de desviación en el momento apropiado. Además, las cámaras se han concebido de modo que la duración de la calibración propia sea lo más corta posible:

El montaje de actuadores con velocidad respectiva permite, en la cámara USB de infrarrojo, una comparación propia en 250 ms. Lo que se puede comparar con el parpadeo del ojo y así aceptar para muchos los procesos de medición. En procesos sobre cinta, en los que se han detectar puntos calientes repentinos, se pueden aprovechar, a menudo y a corto plazo, imágenes de referencia generadas “buenas”, como una medición de imagen diferencial dinámica. Así es posible un servicio permanente sin elemento con movimiento



Para referenciar la desviación se cierra brevemente el campo visual del conjunto del sensor de infrarrojo

mecánico.

Justo en el empleo de la cámara en la tecnología de procesamiento láser 10,6 μm -CO₂ se ha probado su eficiencia la opción de cerrar por control externo el canal óptico, para una señalización independiente al mismo tiempo del estado de servicio protegido opto-mecánicamente de la cámara. Las mediciones de la temperatura en todos los otros láseres de procesamiento que trabajan en el rango 800 nm a 2,6 μm se pueden realizar in situ gracias al buen bloqueo de filtración.

Los campos de empleo principales del dispositivo termográfico descrito aquí son:

- Análisis de procesos térmicos dinámicos en el desarrollo de productos y procesos
- Empleo estacionario para observación y regulación continuadas de procesos térmicos
- Uso ocasional de dispositivo de medición portátil en el sector de mantenimiento y para la detección de fugas térmicas



Cámaras termográficas y aplicaciones

Las ventajas de una grabación vídeo de 120 Hz se pueden constatar en la aplicación en el sector de I+D. Así se pueden analizar más tarde a cámara lenta los procesos térmicos que están sólo brevemente en el campo visual de la cámara. De esta manera se pueden extraer imágenes individuales posteriormente desde esta secuencia de video con plena resolución geométrica y térmica. Además, las lentes intercambiables, inclusive un sistema de microscopio, ofrecen numerosas opciones para adaptar el dispositivo a diferentes tareas de medición. Mientras que 6 objetivos se usan más bien para observar detalles a gran distancia, con un sistema de microscopio se pueden medir objetos con un tamaño de 4 x 3 mm² y una resolución geométrica de 25 x 25 µm.

Una interfaz de procesos con aislamiento galvánico es ideal para cámaras USB de infrarrojo con montaje fijo, donde la información de temperatura generada por la imagen térmica se transmite como tensión de señal. Además, las emisividades referidas a la superficie o las temperaturas referenciadas y medidas sin contacto o con contacto se pueden comunicar al sistema de cámara a través de una entrada de tensión. Para documentar la calidad, otra entrada digital puede emitir instantáneas o secuencias vídeo. Tales imágenes térmicas según el producto individual pueden almacenarse automáticamente en servidores centrales.

El software de análisis garantiza flexibilidad

No se requiere instalación de un driver, desde que las cámaras USB de infrarrojo usan el tipo de vídeo USB estándar y el draiver HID ya integrados a partir de Windows XP. La corrección en tiempo real según píxel individual de los datos vídeo y cálculo de la temperatura tienen lugar en el ordenador. La calidad de las imágenes, es impresionantemente buena para un sensor de 20.000 píxel, que se alcanza por un complejo algoritmo de renderización, con base informática, que calcula los campos de temperatura en formato VGA.

El software de usuario destaca por su alta flexibilidad y portabilidad. Además de las funciones estándares, el software ofrece las siguientes propiedades:

- Numerosas funciones de exportación de datos e imágenes térmicas para respaldar informes y análisis fuera de línea
- Paletas de colores mezcladas y escalables
- Representación de perfil de posicionamiento libre
- Número ilimitado de campos de medición con opciones separadas de alarma y
- Representaciones vídeo diferenciales basadas en imágenes de referencia.

El software ofrece también un modo Layout, que almacena y restaura los modos de representación más diferentes. El editor vídeo permite el procesamiento de archivos AVI (.ravi). Tales archivos pueden analizarse también fuera de línea con el software utilizable varias veces en paralelo. Entre los modos de grabación vídeo figuran modos de servicio intermitentes que permiten la grabación de procesos térmicos lentos y de su observación rápida.

La transmisión de datos en tiempo real a otros programas se efectúa con un archivo DLL documentado en detalle como parte de un kit de desarrollo de software. A través de la interfaz DLL se pueden controlar también todas las otras funciones de la cámara. Como alternativa, el software puede comunicarse con un puerto serial (COM) y, así p. ej., activar directamente una interfaz RS422.

Aplicaciones

A continuación se van a tratar a modo de ejemplo cinco aplicaciones típicas que describen el campo de aplicación de las cámaras USB de infrarrojo

1. Optimización de procesos de producción

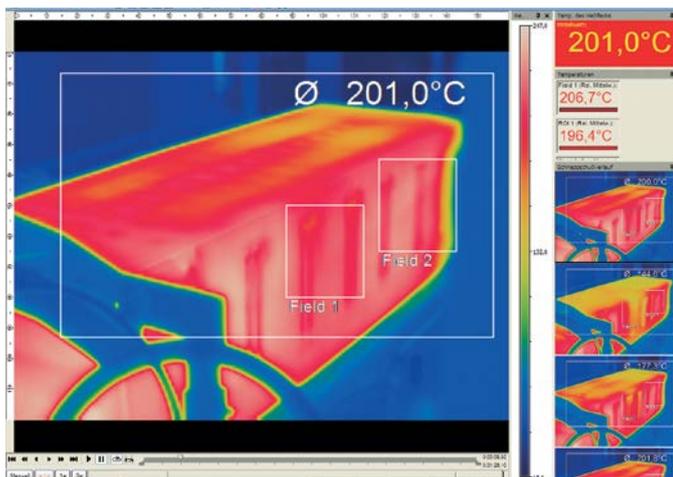
La fabricación de piezas de plástico, como botellas PET, requiere un calentamiento definido de las llamadas preformas, para garantizar un espesor homogéneo del material durante el soplado de las botellas. En la planta de producción se fabrica a modo de ensayo con piezas brutas de tan sólo unos 20 mm de espesor a plena velocidad de trabajo de aprox. un m/s.

Cuando los cuerpos de prueba a la hora de pasar puede variar su temperatura, se tiene que grabar una frecuencia vídeo de 120 Hz para poder medir el perfil térmico de una preforma. La cámara se posiciona de tal modo que sigue el



movimiento del material en un ángulo oblicuo – similar al último vagón de un tren en marcha –. El resultado es el perfil de temperatura de una secuencia vídeo IR, que es esencial para ajustar los parámetros de calentamiento.

En las formas al vacío de piezas grandes de plástico para frigorífico, la grabación vídeo permite la medición exacta del proceso de enfriamiento en diversos puntos de la pieza preformada. Las diversas velocidades de enfriamiento deforman el material. Las deformaciones que aparecen a menudo con diferencia temporal y que se deben al efecto memoria – p. ej. en cuadros de mando – pueden evitarse optimizando las velocidades de enfriamiento. Como en el caso del osciloscopio para el análisis del curso de señales eléctricas, la cámara vídeo de infrarrojo es un útil importante para evaluar procesos térmicos dinámicos.



Ejemplos de las numerosas opciones del análisis de vídeo e imágenes con infrarrojo

2. Control de fiebre en pasajeros



Planta para exploración de la temperatura de la piel en pasajeros con radiador de referencia de precisión

La fiebre del Ébola, la gripe porcina y otras enfermedades virales son muy peligrosas y se transmiten en gran parte por personas infectadas. En un mundo globalizado como en el que vivimos, los aviones constituyen una vía de propagación muy rápida de continente a continente. Entre los cometidos importantes a escala internacional figura el de impedir a estas personas que viajen en avión. El sistema de control de fiebre de Optris es ideal para este fin. Esta tecnología de clasificación térmica trabaja rápida, discreta y sin contacto. El software selecciona a aquellas personas cuya temperatura de la piel supera el valor definido con anterioridad. La alarma visual avisa a los empleados del aeropuerto y les ofrece la oportunidad de detectar a las personas potencialmente infectadas y de aislarlas de los otros viajeros, de tal modo que se pueda realizar con toda discreción un examen médico.

Las cámaras IR normales presentan, por su limitada

- estabilidad de los sensores de alta sensibilidad y de la
- calidad de imagen de los objetivos ampliamente abiertos, una precisión de medición de +/- 2 °C.

Lo que es insuficiente para mediciones en el sector médico. Para este fin se han de emplear cuerpos de referencia que permiten una precisión en la medición de 0,2 °C a una temperatura de radiación de 34 °C. Los cuerpos se colocan en el borde de la imagen, a la misma distancia en la que tiene lugar también la medición de la temperatura de la superficie de la piel. El corazón del sistema de medición es un termómetro de infrarrojo certificado con 25 mK de resolución térmica. Este dispositivo integrado en el cuerpo de referencia mide la radiación térmica y transmite los valores de temperatura por una interfaz de 4 – 20 mA a la entrada analógica de la cámara de infrarrojo. El software calcula en el sector de la imagen correspondiente un valor de corrección y lo transmite a todos los otros píxeles de la imagen de medición. Se genera automáticamente una alarma al constatar una posible fiebre y crea una imagen fija radiométrica para su documentación. En tales casos, se mide con contacto la temperatura de las personas afectadas, p. ej., con un termómetro de oído.

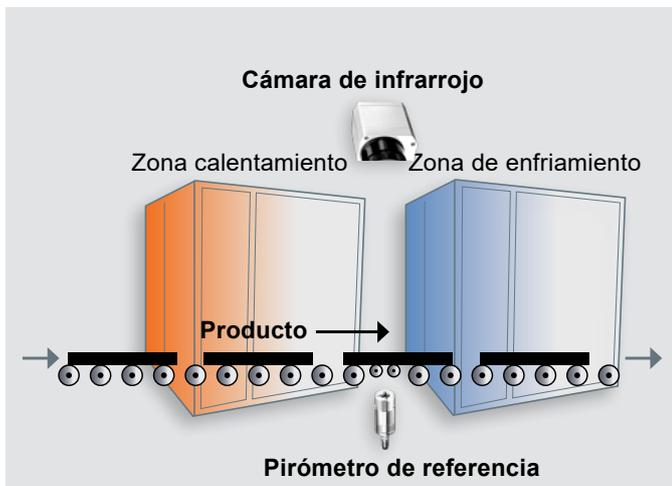
Cámaras termográfica y aplicaciones

3. Empleo de cámara lineal en plantas de templado de vidrio

Después de cortar los vidrios de construcción en su forma definitiva, se tiene que endurecer con frecuencia su superficie. Lo que tiene lugar en plantas de templado en las que el vidrio cortado se calienta en un horno a aprox. 600 °C. Después del calentamiento se extrae el material, por rodillos móviles, fuera del horno y transporta a una sección de enfriamiento por aire, donde la superficie se enfría rápida y uniformemente. Así se genera la estructura templada y fina cristalina, tan importante para el vidrio de seguridad. Esta estructura y, así, la resistencia a la rotura del vidrio depende del calentamiento lo más uniforme posible de todas las superficies parciales.

Como la carcasa del horno y la sección de enfriamiento están cerca una de la otra, se pueden observar las superficies de vidrio transportadas del horno sólo por una estrecha hendidura. En la imagen térmica aparece el material, por eso, sólo en unas pocas líneas.

El software permite ahora la representación específica, en la que la imagen de las superficies de vidrio se genera desde un número ilimitado de líneas.



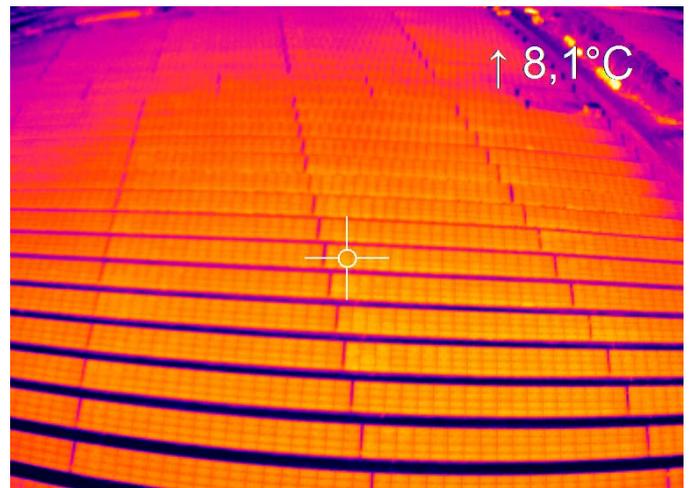
Medición de imagen térmica en una planta de endurecimiento de vidrio con cámara de infrarrojo y pirómetro de referencia

La cámara mide la hendidura diagonalmente, de modo que para una lente de 48° resulta un campo visual de 60°. Como el vidrio tiene diferentes emisividades en función del revestimiento de su superficie, un termómetro de infrarrojo mide sobre el lado inferior no revestido la temperatura superficie exacta a la longitud de onda óptima para superficie de vidrio de 5 µm. Estas temperaturas determinadas a lo largo de una hendidura de la imagen de medición se comunican por la entrada analógica a la cámara, y aquí se comparan con los valores medidos de las cámaras correspondientes. El resultado es una emisividad corregida para la imagen de medición completa. Las imágenes de medición permiten,

por último, un ajuste exacto de todas las secciones de calentamiento en el horno y aseguran, así, una buena homogeneidad térmica.

4. Cámaras de infrarrojo en aplicaciones aéreas

Las cámaras termográficas se emplean cada vez más en objetos teledirigidos y otros objetos aéreos. El campo de aplicación es amplio: tanto el control y análisis térmico de grandes plantas industriales y edificios a la prevención de incendios posteriores mediante localización de focos de posible combustión, como también la localización de personas y realización de censos en medio de la naturaleza. Digna de mención es ante todo la termografía aérea en el aseguramiento de calidad y mantenimiento de plantas fotovoltaicas. Las plantas deben funcionar eficazmente para amortizar rápidamente los altos gastos de compra. Para asegurar el funcionamiento perfecto de las plantas hay que reparar lo antes posible los módulos solares averiados.



Control de la temperatura en plantas solares

5. Tecnología de la medición de la temperatura en línea para el control de plantas de productos alimenticios

En la producción de platos precocinados es imprescindible elaborar un producto final con diversos ingredientes que sea sabroso a pesar de su preparación industrial. Por motivos de la seguridad de productos alimenticios, todos los ingredientes tienen que calentarse a 95 °C. Si se utilizara para este fin sólo un hervidor al vapor, la verdura se descompondría antes de que la carne estuviera hervida.

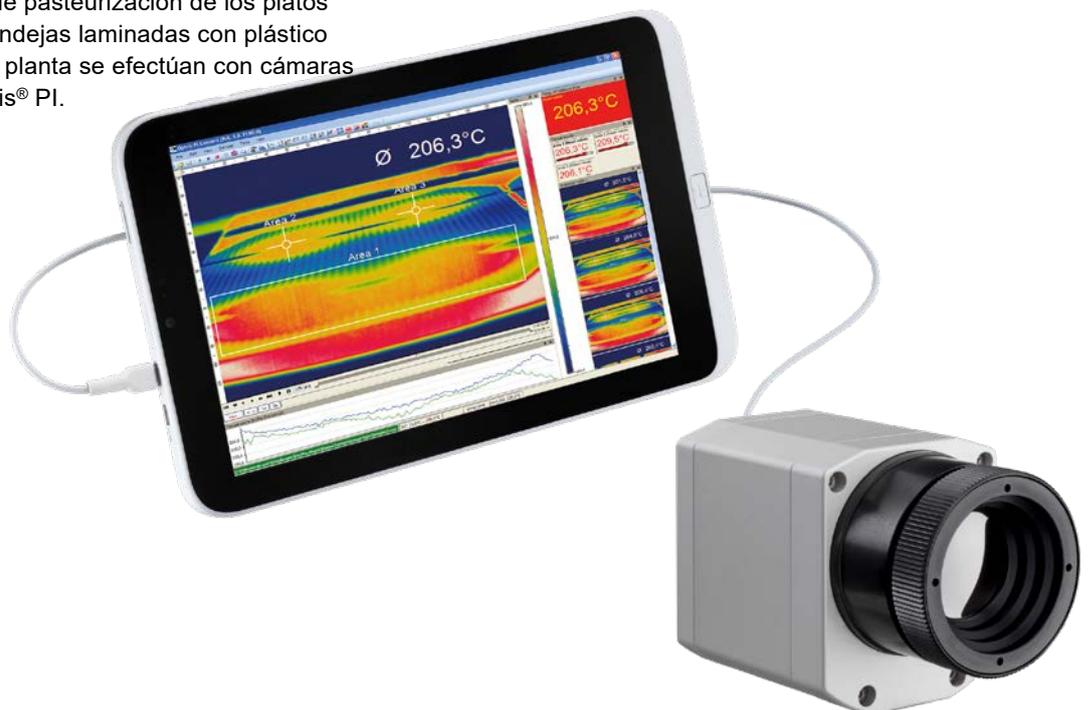


Control de la temperatura en el calentamiento de rosetas de brécol

Naprotec, una empresa en Zetel (Alemania), aplica un calentamiento mediante una tecnología con microondas. Se aplica una característica de los vegetales, única en su género a escala mundial. Para este fin se aprovecha el efecto de que todo producto alimenticio tiene una frecuencia propia donde se calienta con rapidez. Dentro del marco del concepto HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), el control de las temperaturas de pasteurización de los platos precocinados, puestos en bandejas laminadas con plástico PE, así como el control de la planta se efectúan con cámaras de infrarrojo de las serie optris® PI.

Resumen

La innovadora tecnología de cámaras infrarrojas marca en el mercado nuevas pautas en cuanto a flexibilidad y gamas de aplicación. Además de los complejos análisis de temperatura, el dispositivo es apto, en combinación con tablets, también para solucionar cometidos simples de mantenimiento. Con excepción del hardware del cabezal de medición mismo de la cámara USB de infrarrojo, los otros dos componentes importantes del sistema termográfico descrito, a saber el software Windows y el hardware del ordenador, se pueden actualizar también posteriormente. Lo que ocurre, por un lado, mediante simple descarga de actualización y/o ampliaciones del software. O bien se puede completar el sistema de medición en todo momento con un hardware informático perfeccionado tecnológicamente y funcionalmente, gracias a la interfaz USB estandarizada.



Bibliografía

Bibliografía de referencia

- [1] VDI/VDE Richtlinie, Technische Temperaturmessungen – Spezifikation von Strahlungsthermometern, Juni 2001, VDI 3511 Blatt 4.1
- [2] VDI/ VDE Richtlinie Technische Temperaturmessungen, Strahlungsthermometrie – Kalibrierung von Strahlungsthermometern, 2004, VDI/ VDE 3511, Blatt 4.3
- [3] Trouilleau, C. et al.: High-performance uncooled amorphous silicon TEC less XGA IRFPA with 17 μm pixel-pitch; “Infrared technologies and applications XXXV”, Proc. SPIE 7298, 2009
- [4] Schmidgall, T.; Glänzend gelöst – Fehlerdetektion an spiegelnden Oberflächen mit USB2.0 – Industriekameras, A&D Kompendium 2007/2008, S. 219
- [5] Icron Technology Corp.; Options for Extending USB, White Paper, Burnaby; Canada, 2009

Bibliografía recomendada

1. VDI/VDE Richtlinie, Technische Temperaturmessungen – Spezifikation von Strahlungsthermometern, Juni 2001, VDI 3511 Blatt 4.1
2. Stahl, Miosga: Grundlagen Infrarottechnik, 1980, Dr. Alfred Hütthig Verlag Heidelberg
3. Walther, Herrmann: Wissensspeicher Infrarotmesstechnik, 1990, Fachbuchverlag Leipzig
4. Walther, L., Gerber, D.: Infrarotmesstechnik, 1983, Verlag Technik Berlin
5. De Witt, Nutter: Theory and Practice of Radiation Thermometry, 1988, John Wiley & Son, New York, ISBN 0-471-61018-6
6. Wolfe, Zissis: The Infrared Handbook, 1978, Office of Naval Research, Department of the Navy, Washington DC.
7. Crastes, A. et al.: Uncooled amorphous silicon $\frac{1}{4}$ VGA IRFPA with 25 μm pixel-pitch for High End applications, Infrared technologies and applications XXXIV”, Proc. SPIE 6940, 2008
8. Holst, Gerald C.: Electro-optical Imaging System Performance, JCD Publishing Winter Park, Florida USA, 2006, ISBN: 0-8194-6179-2
9. Ulrich Kienitz: Wärmebildtechnik als moderne Form der Pyrometrie, in: tm – Technisches Messen 2014; 81(3), S. 107–113.

Término / Expresión	Explicación
Absorción (grado de absorción)	Relación entre la radiación absorbida por un objeto y la radiación incidente. Una cifra entre 0 y 1.
Emisividad	La radiación emitida por un objeto en comparación con la de un cuerpo negro. Una cifra entre 0 y 1.
Filtro	Material, que sólo es transparente para determinadas longitudes de onda de infrarrojo.
FOV	Ángulo visual (Field of view): el ángulo de observación horizontal de un objetivo infrarrojo.
FPA	Focal Plane Array: un tipo de detector infrarrojo
Cuerpo gris	Un objeto que emite una cuota determinada de cantidad de energía de un cuerpo negro para cada longitud de onda.
IFOV	Ángulo visual momentáneo: una medida para la resolución geométrica de una cámara de infrarrojo.
NETD	Ruido equivalente de la diferencia de temperatura. Una medida para el ruido de imágenes de una cámara de infrarrojo.
Parámetros del objeto	Una serie de valores, con los que se describen las condiciones, bajo las cuales se han de realizar las mediciones, así como el objeto a medir mismo (p. ej. emisividad, temperatura ambiente, distancia, etc.)
Señal de objeto	Un valor no calibrado, que se refiere a la cantidad de radiación, que la cámara recibe del objeto a medir.
Paleta	Los colores utilizados para visualizar una imagen infrarroja.
Píxel	Sinónimo de elemento de la imagen. Un punto de la imagen individual en una imagen.
Temperatura de referencia	Una temperatura con la que se pueden comparar los valores medidos regulares.
Grado de reflexión	Relación entre la radiación reflexión por un objeto y la radiación incidente. Una cifra entre 0 y 1
Cuerpo negro	Objeto con un grado de reflexión de cero. Toda radiación es debida a su propia temperatura.
Radiación específica espectral	Cantidad de energía emitida por un objeto, referida a tiempo, superficie y longitud de onda ($W/m^2/\mu m$)
Radiación específica	Cantidad de energía emitida por un objeto por unidad de tiempo y superficie (W/m^2)
Radiación	Cantidad de energía emitida por un objeto, referida a tiempo, superficie y ángulo sólido ($W/m^2/sr$)
Flujo de radiación	Cantidad de energía emitida por un objeto por unidad de tiempo (W)
Diferencia de temperatura	Un valor que se calcula por substracción de dos valores de temperatura.
Rango de medición de la temperatura	El rango de medición de la temperatura actual de una cámara de infrarrojo. Las cámaras pueden disponer de varios rangos. Se indican con ayuda de dos valores de temperatura de cuerpo negro, que sirven de valores límite para la calibración actual.
Termograma	Imagen infrarroja
Transmisión (grado de transmisión)	Los gases y cuerpos sólidos presentan una transparencia diferente. La transmisión indica la cantidad de la radiación infrarroja, que dejan pasar. Una cifra entre 0 y 1.
Entorno	Objetos y gases que emiten radiación al objeto a medir.

Apéndice: Tabla de emisividad

En este apartado usted encontrará una relación de los datos de emisión procedente de bibliografía técnica y de mediciones propias de la compañía Optris GmbH.

Referencias

1. Mikaél A. Bramson: Infrared Radiation, A Handbook for Applications, Plenum Press, N.Y.
2. William L. Wolfe, George J. Zissis: The Infrared Handbook, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
3. Madding, R.P.: Thermographic Instruments and Systems. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin – Extension, Department of Engineering and Applied Science
4. William L. Wolfe: Handbook of Military Infrared Technology, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
5. Jones, Smith, Probert: External thermography of buildings ..., Proc. Of the Society of Phot-Optical Instrumentation Engineers, vol. 110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, Juni 1977 London
6. Paljak, Pettersson: Thermography of Buildings, Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972
7. Vlcek, J.: Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at $\lambda = 5 \mu\text{m}$. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
8. Kern: Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites, Defence Documentation Center, AD 617 417.
9. Öhman, Claes: Emittansmätningar med AGEMA E-Box. Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Mediciones de emisión con AGEMA E-Box. Informe técnico, AGEMA 1999.)
10. VDI/VDE – Richtlinien 3511, Blatt 4, technische Temperaturmessungen, Strahlungsthermometrie, Dez. 2011

T: Espectro total SW: 2–5 μm (de onda corta) LW: 8–14 μm (de onda larga) LLW: 6,5–20 μm (de onda larga a frecuencias cortas) Referencias					
Material	Especificación	Temp. °C	Espectro	Emisividad	R
Aluminio	Chapa, 4 muestras rayadas de modo diferente	70	LW	0,03–0,06	9
Aluminio	Chapa, 4 muestras rayadas de modo diferente	70	SW	0,05–0,08	9
Aluminio	Anodizado, gris claro, romo	70	LW	0,97	9
Aluminio	Anodizado, gris claro, romo	70	WS	0,61	9
Aluminio	Anodizado, gris claro, romo	70	LW	0,95	9
Aluminio	Anodizado, gris claro, romo	70	SW	0,67	9
Aluminio	Chapa anodizada	100	T	0,55	2
Aluminio	Lámina	27	3 μm	0,09	3
Aluminio	Lámina	27	10 μm	0,04	3
Aluminio	Rugoso	27	3 μm	0,28	3
Aluminio	Rugoso	27	10 μm	0,18	3
Aluminio	Fundido, tratado con chorro de arena	70	LW	0,46	9
Aluminio	Fundido, tratado con chorro de arena	70	SW	0,47	9
Aluminio	Sumergido en HNO ₃ , plancha	100	T	0,05	4
Aluminio	Pulido	50–100	T	0,04–0,06	1
Aluminio	Pulido, chapa	100	T	0,05	2
Aluminio	Plancha pulida	100	T	0,05	4
Aluminio	Superficie rugosa	20–50	T	0,06–0,07	1
Aluminio	Fuertemente oxidado	50–500	T	0,2–0,3	1
Aluminio	Muy corroído p. intemp.	17	SW	0,83–0,94	5
Aluminio	Sin alterar, chapa	100	T	0,09	2
Aluminio	Sin alterar, plancha	100	T	0,09	4
Aluminio	Revestido al vacío	20	T	0,04	2
Bronce Alu.		20	T	0,6	1
Hidróx.Alu.	Polvo		T	0,28	1
Óxido de aluminio	Activado, polvo		T	0,46	1
Óxido de aluminio	Puro, polvo (óxido de aluminio)		T	0,16	1
Amianto	Baldosas	35	SW	0,94	7
Amianto	Tabla	20	T	0,96	1
Amianto	Tejido		T	0,78	1
Amianto	Papel	40–400	T	0,93–0,95	1
Amianto	Polvo		T	0,40–0,60	1
Amianto	Ladrillo	20	T	0,96	1
Firme de suelo de asfalto		4	LLW	0,967	8
Hormigón		20	T	0,92	2
Hormigón	Acera	5	LLW	0,974	8
Hormigón	Rugoso	17	SW	0,97	5
Hormigón	Seco	36	SW	0,95	7
Chapa	Brillante	20–50	T	0,04–0,06	1

Material	Especificación	Temp. °C	Espectro	Emisividad	R
Chapa	Chapa blanca	100	T	0,07	2
Plomo	Brillante	250	T	0,08	1
Plomo	No oxidado, pulido	100	T	0,05	4
Plomo	Oxidado, gris	20	T	0,28	1
Plomo	Oxidado, gris	22	T	0,28	4
Plomo	Oxidado a 200 °C	200	T	0,63	1
Plomo rojo		100	T	0,93	4
Plomo rojo, polvo		100	T	0,93	1
Bronce	Bronce fosforoso	70	LW	0,06	9
Bronce	Bronce fosforoso	70	SW	0,08	1
Bronce	Pulido	50	T	0,1	1
Bronce	Poroso, rugoso	50–100	T	0,55	1
Bronce	Polvo		T	0,76–0,80	1
Cromo	Pulido	50	T	0,1	1
Cromo	Pulido	500–1000	T	0,28–0,38	1
Goma endurecida (ebonita)			T	0,89	1
Hielo:	véase agua				
Hierro, galvanizado	Chapa	92	T	0,07	4
Hierro, galvanizado	Chapa, oxidada	20	T	0,28	1
Hierro, galvanizado	Chapa, pulida	30	T	0,23	1
Hierro, galvanizado	Fuertemente oxidado	70	LW	0,85	9
Hierro, galvanizado	Fuertemente oxidado	70	SW	0,64	9
Hierro y acero	Electrolítico	22	T	0,05	4
Hierro y acero	Electrolítico	100	T	0,05	4
Hierro y acero	Electrolítico	260	T	0,07	4
Hierro y acero	Electrolítico, pulido al brillo	175–225	T	0,05–0,06	1
Hierro y acero	Recién laminado	20	T	0,24	1
Hierro y acero	Recién tratado con papel de esmerilar	20	T	0,24	1
Hierro y acero	Chapa lijada	950–1100	T	0,55–0,61	1
Hierro y acero	Forjado, pulido al brillo	40–250	T	0,28	1
Hierro y acero	Chapa laminada	50	T	0,56	1
Hierro y acero	Brillante, corroído	150	T	0,16	1
Hierro y acero	Capa de óxido brillante, chapa	20	T	0,82	1
Hierro y acero	Laminado en caliente	20	T	0,77	1
Hierro y acero	Laminado en caliente	130	T	0,6	1
Hierro y acero	Laminado en frío	70	LW	0,09	9
Hierro y acero	Laminado en frío	70	SW	0,2	9
Hierro y acero	Cubierto con óxido	20	T	0,61–0,85	1
Hierro y acero	Oxidado	100	T	0,74	1
Hierro y acero	Oxidado	100	T	0,74	4
Hierro y acero	Oxidado	125–525	T	0,78–0,82	1
Hierro y acero	Oxidado	200	T	0,79	2
Hierro y acero	Oxidado	200–600	T	0,8	1

Apéndice: Tabla de emisividad

Material	Especificación	Temp. °C	Espectro	Emisividad	R
Hierro y acero	Oxidado	1227	T	0,89	4
Hierro y acero	Pulido	100	T	0,07	2
Hierro y acero	Pulido	400–1000	T	0,14–0,38	1
Hierro y acero	Chapa pulida	750–1050	T	0,52–0,56	1
Hierro y acero	Rugoso, superficie plana	50	T	0,95–0,98	1
Hierro y acero	Oxidado, rojo	20	T	0,69	1
Hierro y acero	Rojo de óxido, chapa	22	T	0,69	4
Hierro y acero	Fuertemente oxidado	50	T	0,88	1
Hierro y acero	Fuertemente oxidado	500	T	0,98	1
Hierro y acero	Fuertemente herrumbroso	17	SW	0,96	5
Hierro y acero	Chapa recubierta fuertemente de herrumbre	20	T	0,69	2
Hie.estaño	Chapa	24	T	0,064	4
Esmalte		20	T	0,9	1
Esmalte	Laca	20	T	0,85–0,95	1
Tierra	Saturada con agua	20	T	0,95	2
Tierra	Seca	20	T	0,92	2
Placa fibrosa	Dura, sin tratar	20	SW	0,85	6
Placa fibrosa	Otreлита	70	LW	0,88	9
Placa fibrosa	Otreлита	70	SW	0,75	9
Placa fibrosa	Plancha de partículas	70	LW	0,89	9
Placa fibrosa	Plancha de partículas	70	SW	0,77	9
Placa fibrosa	Porosa, sin tratar	20	SW	0,85	6
Barniz	Sobre parquet de roble	70	LW	0,90–0,93	9
Barniz	Sobre parquet de roble	70	SW	0,9	9
Barniz	Mate	20	SW	0,93	6
Yeso		20	T	0,8–0,9	1
Revoque yeso		17	SW	0,86	5
Revoque yeso	Plancha de yeso, sin tratar	20	SW	0,9	6
Revoque yeso	Superficie rugosa	20	T	0,91	2
Vidrio	Delgado	25	LW	0,8–0,95	10
Oro	Pulido al brillo	200–600	T	0,02–0,03	1
Oro	Altamente pulido	100	T	0,02	2
Oro	Pulido	130	T	0,018	1
Granito	Pulido	20	LLW	0,849	8
Granito	Rugoso	21	LLW	0,879	8
Granito	Rugoso, 4 muestras diferentes	70	LW	0,77–0,87	9
Granito	Rugoso, 4 muestras diferentes	70	SW	0,95–0,97	9
Goma	Dura	20	T	0,95	1
Goma	Blanda, gris, rugosa	20	T	0,95	1
Hierro fundido	Trabajado	800–1000	T	0,60–0,70	1
Hierro fundido	Líquido	1300	T	0,28	1
Hierro fundido	Fundido	50	T	0,81	1
Hierro fundido	Bloques de hierro fundido	1000	T	0,95	1
Hierro fundido	Oxidado	38	T	0,63	4
Hierro fundido	Oxidado	100	T	0,64	2
Hierro fundido	Oxidado	260	T	0,66	4
Hierro fundido	Oxidado	538	T	0,76	4
Hierro fundido	Oxidado a 600 °C	200–600	T	0,64–0,78	1
Hierro fundido	Pulido	38	T	0,21	4

Material	Especificación	Temp. °C	Espectro	Emisividad	R
Hierro fundido	Pulido	40	T	0,21	2
Hierro fundido	Pulido	200	T	0,21	1
Hierro fundido	No trabajado	900–1100	T	0,87–0,95	1
Piel	Persona	32	T	0,98	2
Madera		17	SW	0,98	5
Madera		19	LLW	0,962	8
Madera	Cepillada	20	T	0,8–0,9	1
Madera	Roble cepillado	20	T	0,9	2
Madera	Roble cepillado	70	LW	0,88	9
Madera	Roble cepillado	70	SW	0,77	9
Madera	Esmerilada	0	T	0,5–0,7	1
Madera	Pino, 4 muestras diferentes	70	LW	0,81–0,89	9
Madera	Pino, 4 muestras diferentes	70	SW	0,67–0,75	9
Madera	Madera chapa, lisa, seca	36	SW	0,82	7
Madera	Madera chapa, sin tratar	20	SW	0,83	6
Madera	Blanca, húmeda	20	T	0,7–0,8	1
Cal			T	0,3–0,4	1
Carbono	Grafito, superficie limada	20	T	0,98	2
Carbono	Polvo de grafito		T	0,97	1
Carbono	Polvo de carbón vegetal		T	0,96	1
Carbono	Hollín de velas	20	T	0,95	2
Carbono	Hollín de lámparas	20–400	T	0,95–0,97	1
Plástico	Laminado de fibras de vidrio (placa de circuitos impresos)	70	LW	0,91	9
Plástico	Laminado de fibras de vidrio (placa de circuitos impresos)	70	SW	0,94	9
Plástico	Plancha aislante de poliuretano	70	LW	0,5	9
Plástico	Plancha aislante de poliuretano	70	SW	0,29	9
Plástico	PVC, suelo de plástico, romo, estructurado	70	LW	0,93	9
Plástico	PVC, suelo de plástico, romo, estructurado	70	SW	0,94	9
Cobre	Electrolítico, pulido al brillo	80	T	0,018	1
Cobre	Electrolítico, pulido	–34	T	0,006	4
Cobre	Rascado	27	T	0,07	4
Cobre	Fundido	1100–1300	T	0,13–0,15	1
Cobre	Comercial, brillante	20	T	0,07	1
Cobre	Oxidado	50	T	0,6–0,7	1
Cobre	Oxidado, oscuro	27	T	0,78	4
Cobre	Fuertemente oxidado	20	T	0,78	2
Cobre	Oxidado, negro		T	0,88	1
Cobre	Pulido	50–100	T	0,02	1
Cobre	Pulido	100	T	0,03	2
Cobre	Pulido, comercial	27	T	0,03	4
Cobre	Pulido, mecánico	22	T	0,015	4
Cobre	Puro, superficie preparada con cuidado	22	T	0,008	4
Dióxido cobre	Polvo		T	0,84	1
Dióxido cobre	Rojo, polvo		T	0,7	1

Material	Especificación	Temp. °C	Espectro	Emisividad	R
Laca	3 colores rociados sobre aluminio	70	LW	0,92–0,94	9
Laca	3 colores rociados sobre aluminio	70	SW	0,50–0,53	9
Laca	Aluminio sobre superficie rugosa	20	T	0,4	1
Laca	Baquelita	80	T	0,83	1
Laca	Resistente a altas temperaturas	100	T	0,92	1
Laca	Negra, brillante, rociada sobre hierro	20	T	0,87	1
Laca	Negra, mate	100	T	0,97	2
Laca	Negra, roma	40–100	T	0,96–0,98	1
Laca	Blanca	40–100	T	0,8–0,95	1
Laca	Blanca	100	T	0,92	2
Lacas	8 colores y calidades diferentes	70	LW	0,92–0,94	9
Lacas	8 colores y calidades diferentes	70	SW	0,88–0,96	9
Lacas	Aluminio, edad diferente	50–100	T	0,27–0,67	1
Lacas	A base de aceite, valor medio de 16 colores	100	T	0,94	2
Lacas	Verde de cromo		T	0,65–0,70	1
Lacas	Amarillo de cadmio		T	0,28–0,33	1
Lacas	Azul de cobalto		T	0,7–0,8	1
Lacas	Plástico, negro	20	SW	0,95	6
Lacas	Plástico, blanco	20	SW	0,84	6
Lacas	Aceite	17	SW	0,87	5
Lacas	Aceite, colores diversos	100	T	0,92–0,96	1
Lacas	Aceite, gris brillante	20	SW	0,96	6
Lacas	Aceite, gris, mate	20	SW	0,97	6
Lacas	Aceite, negro, mate	20	SW	0,94	6
Lacas	Aceite, negro, brillante	20	SW	0,92	6
Cuero	Bronceado, curtido		T	0,75–0,80	1
Magnesio		22	T	0,07	4
Magnesio		260	T	0,13	4
Magnesio		538	T	0,18	4
Magnesio	Pulido	20	T	0,07	2
Polvo de magnesio			T	0,86	1
Latón	Frotado con papel de esmerilar de 80	20	T	0,2	2
Latón	Chapa, laminada	20	T	0,06	1
Latón	Chapa, frotada con papel de esmerilar	20	T	0,2	1
Latón	Altamente pulido	100	T	0,03	2
Latón	Oxidado	70	SW	0,04–0,09	9
Latón	Oxidado	70	LW	0,03–0,07	9
Latón	Oxidado	100	T	0,61	2
Latón	Oxidado a 600 °C	200–600	T	0,59–0,61	1
Latón	Pulido	200	T	0,03	1
Latón	Romo, manchado	20–350	T	0,22	1
Molibdeno		600–1000	T	0,08–0,13	1

Material	Especificación	Temp. °C	Espectro	Emisividad	R
Molibdeno		1500–2200	T	0,19–0,26	1
Molibdeno	Hilo	700–2500	T	0,1–0,3	1
Mortero		17	SW	0,87	5
Mortero	Seco	36	SW	0,94	7
Níquel	Alambre	200–1000	T	0,1–0,2	1
Níquel	Electrolítico	22	T	0,04	4
Níquel	Electrolítico	38	T	0,06	4
Níquel	Electrolítico	260	T	0,07	4
Níquel	Electrolítico	538	T	0,1	4
Níquel	Galvanizado, pulido	20	T	0,05	2
Níquel	Galvanizado sobre hierro, no pulido	20	T	0,11–0,40	1
Níquel	Galvanizado sobre hierro, no pulido	22	T	0,11	4
Níquel	Galvanizado sobre hierro, no pulido	22	T	0,045	4
Níquel	Claro, mate	122	T	0,041	4
Níquel	Oxidado	200	T	0,37	2
Níquel	Oxidado	227	T	0,37	4
Níquel	Oxidado	1227	T	0,85	4
Níquel	Oxidado a 600 °C	200–600	T	0,37–0,48	1
Níquel	Pulido	122	T	0,045	4
Níquel	Puro, pulido	100	T	0,045	1
Níquel	Puro, pulido	200–400	T	0,07–0,09	1
Cromo-níquel	Alambre, brillante	50	T	0,65	1
Cromo-níquel	Alambre, brillante	500–1000	T	0,71–0,79	1
Cromo-níquel	Alambre, oxidado	50–500	T	0,95–0,98	1
Cromo-níquel	Laminado	700	T	0,25	1
Cromo-níquel	Tratado con chorro de arena	700	T	0,7	1
Óxido níquel		500–650	T	0,52–0,59	1
Óxido níquel		1000–1250	T	0,75–0,86	1
Aceite, lubri.	Película de 0,025 mm	20	T	0,27	2
Aceite, lubri.	Película de 0,050 mm	20	T	0,46	2
Aceite, lubri.	Película de 0,125 mm	20	T	0,72	2
Aceite, lubri.	Capa gruesa	20	T	0,82	2
Aceite, lubri.	Película a base de Ni: sólo base Ni	20	T	0,05	2
Papel	4 colores diferentes	70	LW	0,92–0,94	9
Papel	4 colores diferentes	70	SW	0,68–0,74	9
Papel	Revestido con laca negra		T	0,93	1
Papel	Azul oscuro		T	0,84	1
Papel	Amarillo		T	0,72	1
Papel	Verde		T	0,85	1
Papel	Rojo		T	0,76	1
Papel	Negro		T	0,9	1
Papel	Negro, romo		T	0,94	1
Papel	Negro, romo	70	LW	0,89	9
Papel	Negro, romo	70	SW	0,86	9

Apéndice: Tabla de emisividad

Material	Especificación	Temp. °C	Espectro	Emisividad	R
Papel	Blanco	20	T	0,7–0,9	1
Papel	Blanco, 3 tipos de brillo diferentes	70	LW	0,88–0,90	9
Papel	Blanco, 3 tipos de brillo diferentes	70	SW	0,76–0,78	9
Papel	Blanco, encuadernado	20	T	0,93	2
Platino		17	T	0,016	4
Platino		22	T	0,05	4
Platino		260	T	0,06	4
Platino		538	T	0,1	4
Platino		1000–1500	T	0,14–0,18	1
Platino		1094	T	0,18	4
Platino	Cinta	900–1100	T	0,12–0,17	1
Platino	Alambre	50–200	T	0,06–0,07	1
Platino	Alambre	500–1000	T	0,10–0,16	1
Platino	Alambre	1400	T	0,18	1
Platino	Puro, pulido	200–600	T	0,05–0,10	1
Porcelana	Esmaltado	20	T	0,92	1
Porcelana	Blanca, luminosa		T	0,70–0,75	1
Acero inox.	Chapa, pulida	70	LW	0,14	9
Acero inox.	Chapa, pulida		SW	0,18	9
Acero inox.	Chapa, sin tratar, algo rayada	70	LW	0,28	9
Acero inox.	Chapa, sin tratar, algo rayada	70	SW	0,3	9
Acero inox.	Laminado	700	T	0,45	1
Acero inox.	Aleación, 8 % Ni, 18 % Cr	500	T	0,35	1
Acero inox.	Tratado con chorro de arena	700	T	0,7	1
Acero inox.	Tipo 18 - 8, brillante	20	T	0,16	2
Acero inox.	Tipo 18 - 8, oxidado a 800 °C	60	T	0,85	2
Arena			T	0,6	1
Arena		20	T	0,9	2
Arenisca	Pulida	19	LLW	0,909	8
Arenisca	Rugosa	19	LLW	0,935	8
Escorias	Caldera	0–100	T	0,97–0,93	1
Escorias	Caldera	200–500	T	0,89–0,78	1
Escorias	Caldera	600–1200	T	0,76–0,70	1
Escorias	Caldera	1400–1800	T	0,69–0,67	1
Papel de esmerilar	Grueso	80	T	0,85	1
Nieve:	véase agua				
Plata	Pulida	100	T	0,03	2
Plata	Pura, pulida	200–600	T	0,02–0,03	1
Plancha de virutas	Sin tratar	20	SW	0,9	6
Estucado	Rugoso, amarillo verdoso	Okt 90	T	0,91	1
Icopor	Aislamiento térmico	37	SW	0,6	7
Papel pintado	Ligeramente decorado, gris claro	20	SW	0,85	6
Papel pintado	Ligeramente decorado, rojo	20	SW	0,9	6
Alquitrán			T	0,79–0,84	1
Alquitrán	Papel	20	T	0,91–0,93	1

Material	Especificación	Temp. °C	Espectro	Emisividad	R
Titanio	Oxidado a 540 °C	200	T	0,4	1
Titanio	Oxidado a 540 °C	500	T	0,5	1
Titanio	Oxidado a 540 °C	1000	T	0,6	1
Titanio	Pulido	200	T	0,15	1
Titanio	Pulido	500	T	0,2	1
Titanio	Pulido	1000	T	0,36	1
Arcilla	Cocida	70	T	0,91	1
Paño	Negro	20	T	0,98	1
Agua	Destilada	20	T	0,96	2
Agua	Hielo, cubierto con una fuerte helada	0	T	0,98	1
Agua	Hielo, liso	–10	T	0,96	2
Agua	Hielo, liso	0	T	0,97	1
Agua	Cristales de hielo	–10	T	0,98	2
Agua	Capa >0,1 mm de espesor	0–100	T	0,95–0,98	1
Agua	Nieve		T	0,8	1
Agua	Nieve	–10	T	0,85	2
Tungsteno		200	T	0,05	1
Tungsteno		600–1000	T	0,1–0,16	1
Tungsteno		1500–2200	T	0,24–0,31	1
Tungsteno	Hilo	3300	T	0,39	1
Ladrillo	Óxido de aluminio	17	SW	0,68	5
Ladrillo	Dinas-Óxido de silicio, producto resistente al fuego	1000	T	0,66	1
Ladrillo	Dinas-Óxido de silicio, esmaltado, rugoso	1100	T	0,85	1
Ladrillo	Dinas-Óxido de silicio, sin esmaltar, rugoso	1000	T	0,8	1
Ladrillo	Prod.resis.fuego.cor.	1000	T	0,46	1
Ladrillo	Prod.resis.fuego, magn.	1000–1300	T	0,38	1
Ladrillo	Producto resistente al fuego, radiante débil	500–1000	T	0,65–0,75	1
Ladrillo	Producto resistente al fuego, radiante fuerte	500–1000	T	0,8–0,9	1
Ladrillo	Ladrillo refractario	17	SW	0,68	5
Ladrillo	Esmaltado	17	SW	0,94	5
Ladrillo	Muros	35	SW	0,94	7
Ladrillo	Muros, revocados	20	T	0,94	1
Ladrillo	Normal	17	SW	0,86–0,81	5
Ladrillo	Rojo, normal	20	T	0,93	2
Ladrillo	Rojo, rugoso	20	T	0,88–0,93	1
Ladrillo	Chamota	20	T	0,85	1
Ladrillo	Chamota	1000	T	0,75	1
Ladrillo	Chamota	1200	T	0,59	1
Ladrillo	Silicio, 95 % SiO ₂	1230	T	0,66	1
Ladrillo	Silimanita, 33 % SiO ₂ , 64 % Al ₂ O ₃	1500	T	0,29	1
Ladrillo	A prueba de agua	d17	SW	0,87	5
Cinc	Chapa	50	T	0,2	1
Cinc	Oxidado a 400 °C	400	T	0,11	1
Cinc	Superficie oxidada	1000–1200	T	0,50–0,60	1
Cinc	Pulido	200–300	T	0,04–0,05	1

Apéndice: Criterios de selección para dispositivos de infrarrojo para la medición de la temperatura

Criterios de selección para dispositivos de infrarrojo para la medición de la temperatura

Para la medición de la temperatura sin contacto hay disponibles un gran número de sensores de infrarrojo. A fin de seleccionar el dispositivo de medición ideal para su aplicación personal, se deberán tener en cuenta antes los siguientes criterios:

- Objetivo de la aplicación
- Rango de temperatura
- Condiciones ambientales
- Tamaño del punto a medir
- Material y propiedad de la superficie del objeto a medir
- Tiempo de reacción del termómetro de infrarrojo
- Interfaz
- Emisividad

Objetivo de la aplicación

La pregunta básica es: ¿Medición de puntos o medición de superficie? En función del objetivo de la aplicación se ha de elegir previamente sólo entre un termómetro de infrarrojo o una cámara de infrarrojo. A continuación se tiene que especificar el producto. En casos extraordinarios hay también aplicaciones en las que los dos son recomendables, en estos casos aconsejamos consultar a ingenieros especializados en la aplicación correspondiente.

Rango de temperatura

El rango de temperatura del sensor se deberá elegir de tal modo que se alcance la resolución más alta posible de la temperatura del objeto. Los rangos de medición de las cámaras IR se pueden adaptar manualmente o por interfaz digital a la tarea de medición.

Condiciones ambientales

La temperatura ambiente máxima admisible de los sensores tiene que considerarse a la hora de elegir el dispositivo. Es de hasta 250 °C en la serie optris® CT. Aplicando un enfriamiento por aire o agua se puede garantizar la función de los dispositivos de medición también a altas temperaturas ambiente. Si hubiera además contaminación por polvo en la atmósfera, se deberá mantener la lente libre de suciedad por medio de un sistema de purga de aire.

Tamaño del punto a medir

Para medir con precisión la temperatura, el objeto a medir deberá ser más grande que el campo visual del sensor. En función de la distancia del sensor (E) al objeto a medir cambia el diámetro del punto a medir (M). La relación entre E:M está indicada para las diversas lentes en las hojas de datos.

Para más información consulte nuestro calculador del punto a medir en línea:
www.optris.es/calculator-del-punto-de-medicion

Material y propiedad de la superficie del objeto a medir

La emisividad depende, entre otras cosas, del material y propiedad de la superficie del objeto a medir. Por regla general se aplica: cuanto más alta es la emisividad, más fácil será medir con precisión la temperatura con un sensor de infrarrojo. La emisividad se puede ajustar en muchos dispositivos de medición con infrarrojo. Los valores apropiados se pueden consultar, p. ej., en la tabla de emisividad en el apéndice.

Tiempo de reacción del termómetro de infrarrojo

Los tiempos de reacción de los sensores de infrarrojo son pequeños en comparación con sensores por contacto. Están en el rango de 1 ms a 250 ms y según el elemento detector empleado. El tiempo de reacción está limitado hacia abajo por el elemento detector, pero se puede adaptar con ayuda de la electrónica a la tarea de medición (p. e. formación del valor medio o mantenimiento del valor máximo).

Interfaces para la salida de señales

La interfaz permite evaluar los resultados de la medición. Están disponibles:

- Interfaz de corriente 0/4–20 mA
- Salida de tensión 0–10 V
- Termopar (tipo J, tipo K)
- Interfaces: CAN, Profibus-DP, RS232, RS485, USB, Relé, Ethernet



Una vista en conjunto de los datos técnicos de todos los productos Optris la puede encontrar en nuestro folleto de productos:
www.optris.es/descargas

Innovative infrared technology

Optris GmbH
Ferdinand-Buisson-Str. 14
13127 Berlin · Alemania
Tel.: +49 (0)30 500 197-0
Fax: +49 (0)30 500 197-10
Correo-e: info@optris.es
www.optris.es