

**GUIA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA EL USO DE TERMÓMETROS DE
RADIACIÓN Y CÁMARAS TERMOGRÁFICAS PARA REALIZAR
MEDIDAS TRAZABLES DE LA TEMPERATURA HUMANA SIN
CONTACTO**

Abril 2020

Contenido

Alcance.....	3
Objeto.....	3
Introducción.....	3
Termómetros de oído.....	4
Termómetros de frente.....	6
Cámaras termográficas.....	8
Conclusiones.....	9
Referencias.....	10

Alcance

Este documento es de aplicación a cámaras termográficas y a termómetros de infrarrojos (termómetros de frente o de oído) para la medida de la temperatura humana en el margen de 35,5 °C a 42 °C.

Objeto

El objeto de este documento es detallar una serie de buenas prácticas y de protocolos de uso, de los termómetros citados en el alcance, para la medida de la temperatura humana, de forma que puedan detectarse, con la mayor fiabilidad posible, las personas que presenten una temperatura corporal compatible con los síntomas del Covid-19 o para un propósito similar en cualquier otro tipo de emergencia sanitaria.

Introducción

Existen diversos métodos para medir la temperatura del cuerpo humano. En función de la relación entre la persona sobre la que se mide la temperatura y el termómetro de medida podemos clasificar estos métodos en:

- métodos de contacto
- métodos a distancia (métodos por radiación térmica emitida)

Los métodos de contacto son aquellos que ponen un sensor de temperatura en contacto directo con el cuerpo humano (termómetros digitales). Necesitan un tiempo de espera para alcanzar el equilibrio térmico con la persona a la que se mide la temperatura, pero son los más precisos ($< 0,1$ °C)

Los métodos a distancia se basan en que todos los cuerpos emiten radiación térmica, que se puede recoger con un sensor a una cierta distancia. En este caso no hay contacto directo con la persona, pero son menos precisos que los de contacto porque, entre otros, intervienen en la medida los siguientes efectos:

- la capacidad del cuerpo para emitir radiación térmica (emisividad)
- el ambiente por el que se propaga la radiación térmica desde la persona al termómetro (condiciones ambientales)
- la capacidad del termómetro para recoger la radiación emitida (características ópticas del termómetro, detector, lentes, alineamiento, etc).

En el caso de una emergencia sanitaria como la del Covid-19, se considera más seguro el uso de los métodos a distancia ya que no hay contacto directo con la persona a la que se mide la temperatura. Sin embargo, es necesario tener en cuenta cual es la exactitud de medida de estos termómetros y si esa exactitud es suficiente para establecer con fiabilidad si una persona tiene o no fiebre. Para

ese propósito un termómetro con una exactitud de medida de 1 °C o superior no es útil.

A continuación, se describen cuáles son los termómetros sin contacto más utilizados, sus recomendaciones de uso y las exactitudes de medida que se puede esperar para estos instrumentos.

Termómetros de oído

Los termómetros de infrarrojo de oído se introdujeron hace más de 2 décadas como termómetros clínicos. Tienen algunas ventajas comparados con los termómetros de contacto:

- su tiempo de respuesta es del orden de 1 s
- la temperatura del oído es muy cercana a la temperatura del interior del cuerpo por la proximidad de la membrana timpánica al hipotálamo.



Photo by Jasmin Sessler on Unsplash

El termómetro mide la temperatura del cuerpo humano a través de la radiación emitida por el tímpano y el canal auditivo lo que se considera un radiador completo en una buena aproximación (se puede considerar una emisividad mayor de 0,9, más del 90% de la radiación producida es emitida, para esta configuración de medida). Sus desventajas principales son:

- la posible suciedad en la ventana de entrada del termómetro
- la falta de alineamiento entre el eje del termómetro y del oído.

Existe una norma nacional (transposición de una norma europea) que estandariza la medida de temperatura con estos termómetros: UNE-EN 12470-5 [1] así como una norma americana, ASTM E 1965-98 [2] y una japonesa JIST 4207.

Según la norma UNE-EN 12470-5, para la calibración de estos termómetros los requerimientos son:

- Uso de una cavidad especial (ver figura 1) introducida en un medio isoterma de un volumen de 3 L,
- estabilidad mínima del medio isoterma de 0,01 °C,
- uso de patrones de referencia calibrados, con trazabilidad metrológica, con incertidumbre expandida ($k = 2$) inferior a < 30 mK.

La exactitud de medida (incertidumbre) establecida para este tipo de termómetros en el rango de 35,5 °C a 43,0 °C es de 0,2 °C.

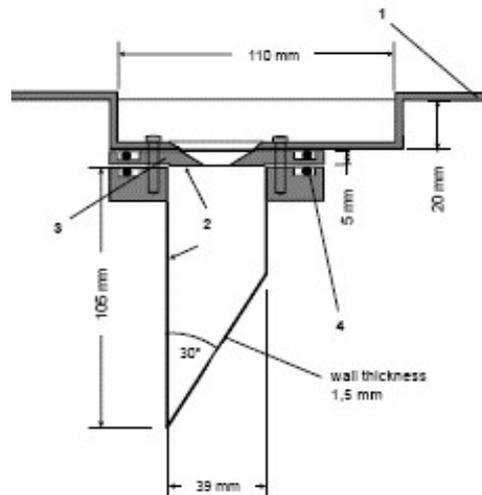


Figura 1. Cavity necesaria para la calibración de termómetros de radiación de oído, imagen extraída de [3].

Estos termómetros han sido también ampliamente estudiados por los Institutos Nacionales de Metrología europeos y existe una comparación internacional de estos termómetros [4] cuyos resultados confirman la exactitud especificada en las normas.

Con toda esta información, podemos considerar que **estos termómetros son los más precisos dentro del grupo de termómetros para la medida de la temperatura del cuerpo humano a distancia (sin contacto)**.

Además de seguir las instrucciones de uso suministradas por el fabricante se recomienda:

- Comprobar en las especificaciones si el fabricante declara cumplimiento con alguna de las normas nacionales o internacionales mencionadas, si es así, puede considerarse una exactitud de la medida de $\pm 0,2$ °C.
- Si el fabricante no declara cumplimiento con ninguna norma nacional o internacional, entonces, para poder asegurar su exactitud de medida es necesario calibrar el termómetro de acuerdo con la norma UNE-EN 12470-5.
- Utilizar una funda protectora para la óptica del sensor por persona.
- Comprobar la limpieza de lente y, si fuese necesario, utilizar un chorro de aire limpio o una tela limpia que no deje ningún resto para limpiarla.
- Realizar la medida con el termómetro en posición horizontal de forma que esté alineado con el canal auditivo.

Termómetros de frente



Estos termómetros son unos termómetros de radiación diseñados para medir la temperatura de la piel en la zona de la frente o de la sien. Las lentes que llevan asociadas nos proporcionan un margen de distancia para realizar la medida que suele oscilar entre unos pocos centímetros y medio metro (se establece en las especificaciones técnicas de cada termómetro).

La emisividad de la piel humana se considera que es aproximadamente 0,9 (90% de la radiación producida es emitida), por lo que estos termómetros están ajustados para indicar una medida correcta de la temperatura con dicha emisividad.

Estos termómetros tienen una **exactitud de medida (incertidumbre) significativamente peor** que la de los termómetros de oído. Esto es debido a que existe una fuente de error adicional:

la diferencia que existe entre la temperatura interna de la persona y la temperatura de la frente debida, sobre todo, a las condiciones ambientales en las que se realice la medida. Se ha demostrado que un cambio en la temperatura del aire de 15,5 °C a 26,6 °C hace que aumente la temperatura del canto interno del ojo de 35,7 °C to 37,6 °C, aunque la temperatura interna del cuerpo no cambie [5].

Existe solo una norma internacional ASTM E 1965–98 [2] para este tipo de termómetros donde se establece un error máximo permitido de 0,3 °C en el rango de 22 °C a 40°C. Sin embargo la mayoría de este tipo de termómetros es incapaz de cumplir estas expectativas de medida como se ha demostrado en la referencia [6].

Los termómetros de radiación de infrarrojo son ampliamente utilizados en los Institutos Nacionales de Metrología y también en la industria, siendo de precisión aceptable si se utilizan midiendo temperatura de emisores perfectos (es decir, cuerpos negros con emisividad cercana a 1, es decir que emiten casi el 100% de la radiación que producen). Si tomamos como base las normas existentes para termómetros de radiación de infrarrojo (IEC TS 62492-2:2013 [7] y IEC TS 62492-1:2008 [8]), en el mejor de los casos sólo se podría conseguir exactitudes de medida (incertidumbre) de entre 0,3 °C a 0,5 °C, pero sin tener en cuenta los errores adicionales provocados por el desconocimiento de la emisividad de la piel, por la deriva del propio termómetro, por la distancia de medida, reproducibilidad y alineamiento.

En la referencia [6] se presentan datos cuantitativos de algunos modelos de termómetros de frente en los que se puede ver que el efecto de la distancia en la medida puede ser de 5 °C a 8 °C cuando se varía la distancia ente el termómetro y la fuente de radiación 3 mm.

En la referencia [9] también se da información sobre el uso de estos termómetros y se vuelve a afirmar que es **menos preciso que el termómetro de oído y otros sistemas térmicos infrarrojos para la detección de fiebre.**

Por todo lo anterior, si añadimos a una exactitud de medida de partida de 0,5 °C para un termómetro de radiación, todas las fuentes de incertidumbre anteriores estaríamos hablando de **exactitudes de medida (incertidumbre) en uso de 1 °C a 2 °C, en el mejor de los casos y con un conocimiento exhaustivo del comportamiento del termómetro.** Por ejemplo, el sistema nacional de salud del Reino Unido no recomienda su uso para la medida de la fiebre (ver: <https://www.nice.org.uk/donotdo/forehead-chemical-thermometers-are-unreliable-and-should-not-be-used-by-healthcare-professionals.>)

Si, a pesar de todo, se quieren utilizar estos termómetros para medir la temperatura del cuerpo humano deben seguirse, además de las instrucciones suministradas por el fabricante las siguientes recomendaciones:

- Calibrar el termómetro con trazabilidad metrológica en al menos tres puntos distribuidos en el rango de 35,5 °C a 42 °C.
- Comprobar la limpieza de lente y, si fuese necesario, utilizar un chorro de aire limpio o una tela limpia que no deje ningún resto para limpiarla.
- Asegurarse de que el tamaño del blanco a la distancia de medida es menor que la zona de la que se quiere medir la temperatura (ver figura 2).
- Establecer una distancia de medida fija, igual o muy próxima a la de calibración
- Asegurarse de que la zona de medida esta despejada (pelo, sudor p. e.)
- Utilizar un termómetro de oído para realizar comprobaciones adicionales en caso de duda o si se necesita determinar la temperatura del cuerpo humano a distancia con una exactitud mejor que 1 °C.

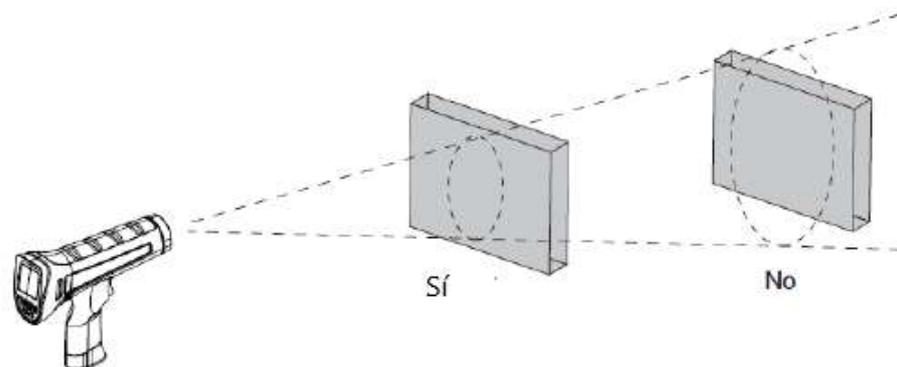


Figura 2. El área del blanco del termómetro (en líneas punteadas) debe ser inferior a la superficie de la que se quiere medir la temperatura (rectángulo gris).

Cámaras termográficas

Las cámaras termográficas están formadas por una red de pequeños sensores de radiación y una óptica (lentes) que nos permite hacer imágenes de varios metros cuadrados de área.

Son muy utilizadas en la industria (electricidad, fabricación de componentes o piezas, edificación, etc) para la búsqueda de puntos calientes. Nos ofrecen un mapa térmico de lo que estamos mirando, por lo que son muy útiles para hacer mapas de temperatura de áreas extensas o multitudes de personas, en este caso “mapas de fiebre”.

Como en el caso de los termómetros de frente, las cámaras termográficas no son muy adecuadas para la medida de la temperatura del cuerpo humano (ver las razones expuestas en el apartado anterior). Sin embargo, presentan dos ventajas frente a los termómetros de frente:

- la posibilidad de medir la temperatura del canto interno del ojo (más próxima a la temperatura interna del cuerpo que la temperatura de la frente), seleccionando los píxeles de esa zona en la imagen,
- la posibilidad de realizar medidas comparativas que pueden actuar de filtro.

Para la medida de la temperatura del canto interno del ojo es muy importante que haya un número adecuado de píxeles en esa zona. El procedimiento requiere un posicionamiento correcto para que la cara llene la mayor parte del área de la imagen. Como con cualquier cámara o sistema de imagen se debe cuidar el enfoque y, en este caso, el primer plano frontal que requiere la imagen de la cara. Esto contrasta con muchas de las imágenes que en ocasiones muestran los medios de comunicación, donde las cámaras se han dirigido, por ejemplo, a grupos de personas, y donde la temperatura máxima mostrada en un termograma puede basarse en un solo píxel. Muchas de las imágenes mostradas también son de baja resolución, probablemente desenfocadas, y los sujetos están demasiado lejos para medir la temperatura.

Existen normas internacionales que nos describen el funcionamiento y los métodos de verificación de las cámaras termográficas [10], [11], [12], [13] y [14]. Los parámetros críticos de la medida con una cámara termográfica (suponiendo emisividad constante en el emisor) son:

- diferencia de temperatura equivalente al ruido (NEDT en sus siglas en inglés),
- diferencia mínima de temperatura que se puede resolver (MRTD en sus siglas en inglés),
- diferencia mínima de temperatura que se puede detectar (MDTD en sus siglas en inglés),
- deriva de los detectores, en el caso de microbolómetros no refrigerados (el tipo de detector más habitual),
- uniformidad de la red de detectores de la cámara,
- efecto de la distancia (absorción atmosférica),
- resolución espacial.

Como en el caso de los termómetros de radiación, las normas describen métodos ampliamente conocidos y estudiados para la calibración y verificación de cámaras termográficas, pero para la medida de emisores perfectos. Por ejemplo, en las referencias [15], [16] se hacen estudios para varias cámaras comerciales y muy pocas cumplen con exactitudes de medida (incertidumbre) inferior a 1 °C. Teniendo en cuenta que en el caso de la medida de la temperatura del cuerpo humano estamos midiendo emisores no perfectos podríamos estimar una **exactitud de medida (incertidumbre) en torno a 2 °C, en el mejor de los casos y con un conocimiento exhaustivo del comportamiento la cámara.**

Además de las instrucciones suministradas por el fabricante, para el uso de cámaras termográficas en la medida de la temperatura del cuerpo humano se recomienda:

- Realizar una calibración o verificación con trazabilidad metrológica, de acuerdo con alguna de las normas mencionadas en el rango de 35,5 °C a 42 °C, en al menos tres puntos distribuidos en este margen.
- Comprobar la limpieza de lente y, si fuese necesario, utilizar un chorro de aire limpio o una tela limpia que no deje ningún resto para limpiarla.
- Tomar lecturas de la zona del canto interno del ojo.
- Asegurarse de que hay suficientes píxeles para determinar la temperatura del canto interno del ojo.
- Establecer una distancia de medida fija igual o muy próxima a la de calibración y un buen enfoque.
- Asegurarse de que la zona de medida esta despejada (pelo, sudor, p.e.).
- Utilizar un termómetro de oído para realizar comprobaciones adicionales en caso de duda o si se necesita determinar la temperatura del cuerpo humano a distancia con una exactitud mejor que 1 °C.

Conclusiones

En primer lugar, en los apartados anteriores hemos estado hablando de exactitudes de las medidas (incertidumbre), pero no sólo se debe tener esto en cuenta a la hora de hacer una medida exacta: deben también conocerse los errores de medida de los termómetros para lo cual, como se ha mencionado, es necesario también calibrarlos (trazabilidad metrológica de la medida), es decir, es necesario saber cuál es la corrección a aplicar a la temperatura indicada para que esta sea una medida de la temperatura verdadera.

La calibración de estos termómetros de radiación la realizan los laboratorios acreditados por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) con trazabilidad a la unidad de temperatura mantenida por el Centro Español de Metrología. De la calibración se obtendrá un valor para corregir las lecturas del termómetro, que, si no se aplica, incrementará en la misma proporción la incertidumbre de medida. En el caso de los termómetros de oído que, si cumple la norma [1] se les puede asignar el error máximo establecido en dicha norma. Estos son los termómetros sin contacto más fiable para medir la temperatura del cuerpo humano.

A pesar de que el termómetro de radiación de frente es muy popular últimamente para medir la temperatura del cuerpo humano, debido a que la distancia entre el que usuario y la persona a la que se está midiendo la temperatura es grande, las exactitudes de media son como mínimo de 1 °C ó 2 °C, lo que no es suficiente para establecer con seguridad si una persona tiene o no fiebre. Lo mismo se puede decir para las cámaras termográficas.

Sin embargo estos dos últimos dispositivos pueden utilizarse para medir cambios en la temperatura (tomando como base una medida de la temperatura de la persona cuando está sana) o, en el caso de las cámaras termográficas, como un primer filtro al comparar la temperatura de varias personas a la vez.

Referencias

- [1] UNE-EN 12470-5:2003 “Termómetros clínicos. Parte 5: Funcionamiento de los termómetros de oído por infrarrojos (con dispositivo de máxima)”
- [2] ASTM E1965 - 98(2016) “Standard Specification for Infrared Thermometers for Intermittent Determination of Patient Temperature”
- [3] J. Hartmann, E.Tegeler “Activities in the field of legal metrology and standardisation of clinical thermometers” Proceedings Tempmeko 2004
- [4] I. Pusnik et al “Comparison of blackbodies for calibration of infrared ear thermometers” Proceedings Tempmeko 2011
- [5] James B. Mercer 1, E. Francis J. Ring “Fever screening and infrared thermal imaging: concerns and guidelines” Thermology international, 2009; 19: 67-69
- [6] Thomas Fletcher, Aaron Whittam, Rob Simpson & Graham Machin “Comparison of non-contact infrared skin thermometers”, Journal of Medical Engineering & Technology, 2018
<https://doi.org/10.1080/03091902.2017.1409818>
- [7] IEC TS 62492-2:2013 “Industrial process control devices - Radiation thermometers - Part 2: Determination of the technical data for radiation thermometers”
- [8] IEC TS 62492-1:2008 “Industrial process control devices - Radiation thermometers - Part 1: Technical data for radiation thermometers”
- [9] Aw J, “The non-contact handheld cutaneous infra-red thermometer for fever screening during the COVID-19 global emergency”, Journal of Hospital Infection, <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.02.010>
- [10] Norma ASTM E1311 - 14 “Standard Test Method for Minimum Detectable Temperature Difference for Thermal Imaging Systems”
- [11] Norma ASTM E1213 - 14 “Standard Test Method for Minimum Resolvable Temperature Difference for Thermal Imaging Systems”
- [12] Norma ASTM E1543 - 14 “Standard Test Method for Noise Equivalent Temperature Difference of Thermal Imaging Systems”
- [13] Recomendación Internacional OIML R 14, 2008 “Procedure for calibration and verification of the main characteristics of thermographic instruments”

- [14] IEC TS 63144-1 (proyecto) “Industrial process control devices - Thermographic cameras - Part 1: Metrological characterization”
- [15] L. Wang, S. W Chua, V. Tan. “Method of evaluating thermal imagers for fever screening” Proceedings Tempmeko 2004
- [16] G. Grgic, I Pusnik. “Analysis of thermal imagers” Proceedings Tempmeko 2011