

Evaluación de la termografía infrarroja para la medida de la temperatura alcanzada por componentes electrónicos.

Santonja, Carmina, Satorre, Miguel Á., Luna, Ramón, Domingo, Manuel, Millán, Carlos
Centro de Tecnologías Físicas. Universitat Politècnica de València 03801 Alcoi, Spain
e-mail: mcsanton@fis.upv.es

RESUMEN

El estudio del calentamiento de componentes electrónicos y de las posibles soluciones para eliminar el calor generado, es fundamental para su buen funcionamiento. Las cámaras infrarrojas son una opción rápida para la detección de puntos calientes sin contacto directo [1]. La medida adecuada de la temperatura con esta técnica requiere del control de muchos parámetros, entre ellos la emisividad del elemento, que a su vez depende de la superficie estudiada. Este trabajo presenta el estudio de la variación de la temperatura de una resistencia para diferentes potencias suministradas, lo que permite estudiar el balance de energía en el elemento resistivo. El análisis se realiza por contacto directo con una sonda K de temperatura, que se utiliza a su vez para caracterizar la emisividad de la resistencia [2]. De esta manera se establecen los parámetros adecuados para la medida termográfica de la resistencia.

Palabras clave: infrarrojos, temperatura, componentes electrónicos.

INTRODUCCIÓN

La termografía Infrarroja es una técnica ampliamente utilizada en múltiples aplicaciones: tanto para el estudio de aislamientos y pérdidas de calor en la construcción, como en la industria eléctrica y mecánica, tanto para mantenimientos predictivos como para el testeo de componentes, control de calidad y caracterización de materiales [3]. Se utiliza también en aplicaciones médicas y en veterinaria. Sus posibilidades son también amplias en el monitoreo de gases y en estudios termodinámicos [4], puesto que permite el análisis de características como la disipación térmica, el calor latente y otras propiedades de los materiales relacionadas con la temperatura.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son múltiples. Por una parte la caracterización de los parámetros de medición adecuados de la cámara termográfica, para la medida correcta de temperaturas en un componente electrónico, en este caso una resistencia. Por otra parte, el análisis de los resultados de temperatura obtenidos con la cámara térmica, por comparación con los obtenidos por contacto directo mediante sonda K calibrada de temperatura. Un tercer objetivo es el estudio termodinámico del proceso, para la posible obtención de parámetros como la capacidad calorífica c_p del elemento de estudio o el factor h de la convección.

RESULTADOS

La temperatura de la resistencia se midió con una sonda K y con una cámara termográfica. La resistencia estaba montada sobre una placa board, y se puso en contacto directo con la sonda K de temperatura (Figura 1, izquierda) acoplada a un



Figura 1. Diferentes imágenes del montaje experimental

polímetro Fluke. La corriente y el voltaje continuo suministrado por una fuente de alimentación de voltaje regulable, 3 V, 6 V, 9 V y 12 V, se controló mediante los polímetros, mientras que el cronómetro medía el tiempo del experimento (Figura 1, centro). Se posicionó la cámara térmica sobre un trípode, para su fijación y ajuste de distancia a un metro, para el registro de las imágenes térmicas (Figura 1, derecha).

La resistencia utilizada fue de valor 220Ω ($\pm 5 \%$) del Conjunto de RS 247-6746. La sonda de temperatura utilizada de tipo K, $-50 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow +1000 \text{ }^\circ\text{C}$. La cámara termográfica utilizada se trata del modelo FLIR E50, $-20 \rightarrow +650 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 2 \%$), resolución IR 240×180 píxel y enfoque manual. Los parámetros de temperatura ambiente y humedad relativa se midieron con termohigrómetro RS 408-6109, $-20 \rightarrow +70 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$).

Para la medida de temperaturas termográficas la cámara está equipada con varias herramientas predeterminadas. Se seleccionó la opción “Center spot” que utiliza un puntero centrado en la pantalla y que se dirige al elemento del cual queremos medir la temperatura. El modo de imagen seleccionado fue Thermal MSX (Multi Spectral Dynamic Imaging). Esta tecnología permite capturar tanto características de luz visible como una imagen térmica que facilita la identificación de dónde se encuentra el patrón de calor del objeto de estudio. Con este modo, la cámara captura imágenes infrarrojas con bordes mejorados que permiten ver el montaje experimental realizado.

Para que las mediciones realizadas sean precisas es necesario compensar los efectos de diversas fuentes de radiación. Este proceso es realizado automáticamente por la cámara, sin embargo, es necesario definirle los parámetros de medición. La escala de temperaturas se mantuvo en modo automático y aparece a la derecha de las imágenes de infrarrojos (ver Figura 1, derecha).

Definición parámetros cámara IR

Los parámetros de medición (Tabla 1), como la emisividad o la temperatura aparente reflejada, se establecieron a partir de la calibración a temperatura ambiente de los valores obtenidos con la cámara térmica y la sonda K de temperatura. Los valores de temperatura ambiente y humedad relativa se obtuvieron con el termohigrómetro RS.

Tabla 1. Parámetros de medición seleccionados en la cámara Flir E-50.

Emisividad	T aparente reflejada ($\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$)	Distancia objeto- cámara ($\pm 0.01 \text{ m}$)	Humedad relativa ($\pm 1 \%$)	T ambiente ($\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$)
0.80	24.3	1.00	31	24.3

La potencia suministrada fue de 38 mW, 159 mW, 348 mW y 632 mW (correspondientes a 3, 6, 9 y 12 V respectivamente). Siendo la energía suministrada proporcional al tiempo.

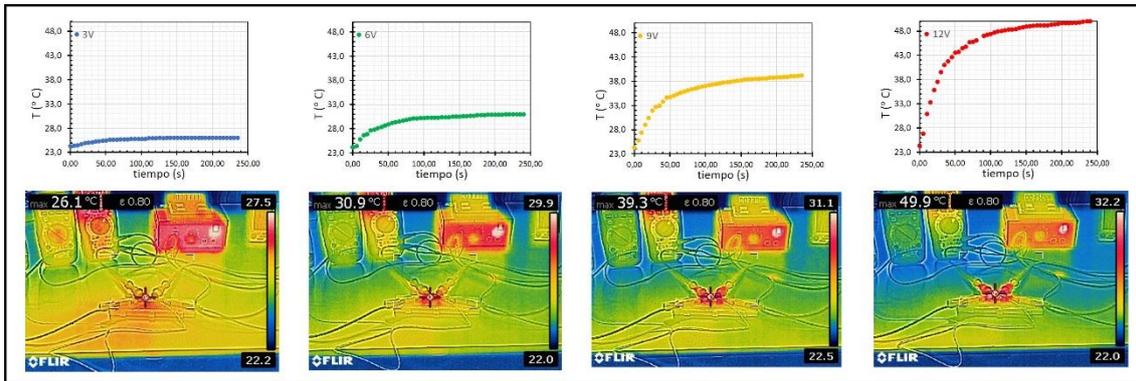


Figura 2. Arriba: temperatura alcanzada frente al tiempo registrada con sonda K. Abajo: temperatura máxima alcanzada por la resistencia registrada con cámara termográfica.

En la parte superior de la Figura 2 se ven las temperaturas registradas en la resistencia por la sonda K, frente al tiempo, para las diferentes potencias suministradas. En la parte inferior de la Figura 2 se observan las temperaturas máximas alcanzadas registradas con la cámara termográfica. Si estudiamos el comportamiento termodinámico del proceso ($\Delta U = Q - W$) según el criterio de signos utilizados en ingeniería, el trabajo eléctrico es negativo, porque se realiza sobre el sistema, aportando potencia a la resistencia. El calor es negativo también, puesto que se desprende del sistema. En la Figura 2 arriba, se puede apreciar un primer tramo de aumento de temperatura lineal con el tiempo, seguido de un tramo de progresiva estabilización de la temperatura, acabando por ser constante a una temperatura máxima. El calor disipado vendrá de la diferencia de temperatura con el ambiente.

En el primer tramo del proceso, el calor disipado es despreciable y el trabajo eléctrico suministrado ($W = I \cdot V \cdot t$) se transforma en energía interna, que es directamente proporcional a la variación de temperatura en la resistencia ($m \cdot c_p \cdot \Delta T$). Por tanto, $I \cdot V \cdot t = m \cdot c_p \cdot \Delta T$, donde m es la masa de la resistencia. El comportamiento prácticamente lineal de la temperatura frente al tiempo es más evidente a potenciales altos (Figura 2, arriba). De esta primera parte de la gráfica podría calcularse el calor específico c_p del material que compone la resistencia a partir de la variación de la temperatura durante ese primer tramo, mediante:

$$\Delta T = \frac{I \cdot V}{m \cdot c_p} \cdot t \quad \rightarrow \quad c_p = \frac{I \cdot V \cdot t}{m \cdot \Delta T}$$

Cuando se llega al estado estacionario, la temperatura frente al tiempo se estabiliza, porque el trabajo suministrado ($W = I \cdot V \cdot t$) iguala al calor disipado ($Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)$), por lo que la variación de energía interna es despreciable. (Figura 2, arriba). Por tanto, $I \cdot V \cdot t = h \cdot A \cdot T_s - h \cdot A \cdot T_{amb} = h \cdot A \cdot \Delta T$, donde h es un factor en la ley de enfriamiento de Newton, A es el área del elemento disipativo, T_s su temperatura superficial (medida con la cámara termográfica) y $T_\infty = T_{amb}$ es la temperatura del aire lejos de la resistencia (tomada con el termohigrómetro RS).

Teniendo en cuenta que la pérdida de calor por radiación es despreciable, dada el área de intercambio y la variación de temperatura, se puede estudiar la disipación del calor influido por la convección natural. A falta de fuentes de convección forzada, se puede determinar el factor h de la ley de enfriamiento de Newton:

$$\Delta T = \frac{I \cdot V}{h \cdot A} \cdot t \quad \rightarrow \quad h = \frac{I \cdot V \cdot t}{A \cdot \Delta T}$$

Este tipo de medidas son muy útiles en ingeniería porque el factor h resulta difícil de calcular dada su dependencia de otros parámetros físicos del fluido (aire en este caso) como su viscosidad dinámica, conductividad térmica, densidad y calor específico. En este caso el elemento debería estar situado en una posición igual a la que ocuparía en el circuito y además se debería poder reproducir, si es necesario, la convección forzada.

Con la resolución espacial de la cámara, no se aprecian variaciones significativas de temperatura dentro de la misma resistencia, aunque existan cámaras que permiten el enfoque a distancias adecuadas para poder detectar dichas variaciones. Esta precisión es necesaria para la determinación de las temperaturas en puntos de unión. Especialmente crítica es la temperatura en la posición de unión en las lámparas de tipo LED. Pequeñas variaciones en la temperatura de unión del diodo pueden variar el color de dichas lámparas como demostraron Patirnac et al. [5].

CONCLUSIONES

Puede observarse en las imágenes térmicas de la Figura 2 abajo, de izquierda a derecha que, debido al aumento de potencia suministrado a la resistencia, la temperatura máxima alcanzada por ésta va también en aumento. Esto se traduce en la diferente intensidad de rojos alcanzada por la resistencia y registrada por la cámara termográfica. Por otra parte, la temperatura alcanzada en la resistencia y registrada por la cámara térmica se corresponde con la medida con la sonda K de temperatura (Figura 2). De esta temperatura máxima se puede estudiar el factor h de convección.

La cámara termográfica permite, por tanto, la determinación de temperaturas en componentes eléctricos y electrónicos sin necesidad de contacto directo. Esto ya es ampliamente empleado en la detección de averías eléctricas debido a sobrecalentamientos indeseados. Sin embargo, para la medición correcta de las temperaturas a las que se ven sometidos los diferentes elementos, hay que caracterizar correctamente la superficie. En caso de no hacerlo, se pueden cometer errores de hasta decenas de grados. Esto impide la determinación simultánea de diferentes temperaturas en las fotografías, a no ser que sean corregidas para cada tipo de superficie de todos los elementos estudiados. Por otro lado, la iluminación también debe ser corregida. En su presencia la luz se reflejará en ellas dependiendo del tipo de luz, de superficie y de su posición frente a la iluminación, falseando los resultados de las medidas. Por ello es necesario caracterizar, como se ha hecho en este trabajo para un caso particular, los elementos a estudiar en cada caso, atendiendo a las condiciones de medición.

REFERENCIAS

- [1] Ramspeck, K. et al. (2014) "In-line Thermography for Reliable Hot Spot Detection and Process Control". *Energy Procedia*, 55, 133-140.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.08.097>
- [2] Marinetti, S.; Cesaratto, P. G. (2012) "Emissivity estimation for accurate quantitative thermography". *NDT & E International*, 51, 127-134.
<https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2012.06.001>
- [3] Meol, C.; Carlomagno, G. M.; Giorleo, L. (2004) "The use of infrared thermography for materials characterization". *Journal of Materials Processing Technology*, 155, 1132-1137.
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.268>
- [4] Bedoya, A. et al. (2020) "Measurement of the thermal conductivity of fluids using laser spot lock-in thermography". *Measurement*, 158, 107740.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107740>
- [5] Patirnac, S.; Satorre, M.Á.; Gilabert, E. (2013) "Variación de la cromaticidad con la temperatura de unión en LEDs de alta potencia". *Alcoy: I Congreso I+D+i Campus d'Alcoi*: Editado por Compobell, 137-140. ISBN: 978 84 941363 6 8