

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN CALEFACTOR DE TRANSFERENCIA TÉRMICA DE CORRIENTE

Sergio A. Campos Montiel¹, Sergio J. Jimenez Sandoval², René D. Carranza López Padilla¹

¹Centro Nacional de Metrología, CENAM.
km 4.5 Carretera a los Cués
Municipio El Marqués
76246 Querétaro, México.

²Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, CINVESTAV.
Libramiento Norponiente 2000, Fraccionamiento Real de Juriquilla, 76230 Querétaro, México.

acampos@cenam.mx / (+52) 442 2 11 05 00 Ext. 3431

Resumen: Este trabajo presenta el avance de la investigación para el diseño de una transferencia térmica de corriente para el CENAM, se enfoca principalmente en la distribución de temperatura en un calefactor de corriente unifilar al circular una corriente eléctrica a través de este.

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto está enfocado en proveer independencia metrológica al CENAM de institutos nacionales de metrología en el extranjero con el diseño y construcción de patrones de transferencia térmica calculable para los patrones nacionales de potencia eléctrica, tensión y corriente eléctrica alterna.

2. PATRONES DE TRANSFERENCIA TÉRMICA

Un patrón de transferencia térmica consta de tres procesos fundamentales, primero la transformación de energía eléctrica a energía térmica a través de un elemento calefactor, posteriormente la energía térmica disipada por el elemento calefactor debe ser censada y finalmente transformada a una tensión en corriente continua, minimizando las pérdidas y asegurando una relación entre la entrada y la salida que proporcione una alta linealidad y estabilidad. La figura 1, ejemplifica que el valor eficaz de las corrientes eléctricas son equivalentes cuando producen la misma potencia promedio en un elemento puramente resistivo. De esta manera la trazabilidad de una señal de corriente eléctrica alterna con o sin distorsión es trazable a la señal de corriente eléctrica continua.

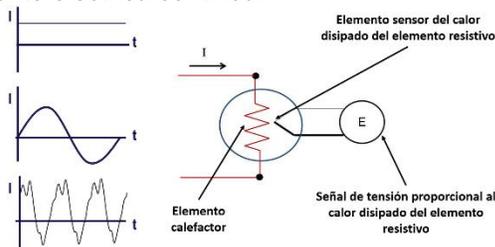


Fig. 1. Diagrama de una transferencia térmica.

3. MODELO MATEMÁTICO PARA OBTENER LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN UN CALEFACTOR DE CORRIENTE UNIFILAR

El siguiente análisis proporciona información de la temperatura en cualquier punto del calefactor de corriente en estado estable. Se asume la Ley de Enfriamiento de Newton, es decir, la tasa de transferencia de calor por convección o por emisividad, es proporcional a la diferencia de temperatura entre el objeto calentado y el medio circundante [2]. La figura 2 presenta un calefactor de corriente unifilar, la curva encima de este muestra la distribución de temperatura a lo largo del calefactor y sus terminales [1].

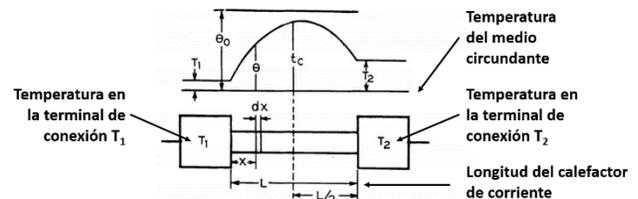


Fig. 2. Distribución de temperatura en calefactor de corriente.

Donde,

- L : longitud del calefactor
- a : área de sección transversal uniforme
- k : conductividad térmica del material
- ρ : resistividad eléctrica del material
- T_1 y T_2 : terminales de conexión del calefactor.
- w : razón de potencia disipada por unidad de tiempo por unidad de longitud
- c : razón de enfriamiento por unidad de tiempo por unidad de longitud

- θ : valor de la temperatura en un punto determinado x del calefactor de corriente
- θ_0 : incremento de temperatura sobre el medio de enfriamiento si todo el calor generado se disipara por convección

La velocidad a la cual el calor es conducido en el calefactor de corriente en la dirección positiva de x , por unidad de tiempo a través de unidad diferencial de longitud dx es;

$$ak \left(\frac{d^2\theta}{dx^2} \right) = -(w - c\theta) \quad (1)$$

El signo negativo de la ecuación (1) es por la razón de que la dirección del flujo de calor en la dirección positiva de x en cualquier punto tiene un signo que es siempre opuesto a la del gradiente de temperatura en ese punto. Integrando la ecuación (1) y aplicando condiciones de frontera establecidas en la figura 2;

Condiciones de frontera $\begin{cases} x = 0 \rightarrow \theta = T_1 \\ x = L \rightarrow \theta = T_2 \end{cases}$

$$\theta = \theta_0 - \left[\frac{(\theta_0 - T_1) \cdot \sinh(Ln - xn) + (\theta_0 - T_2) \cdot \sinh(xn)}{\sinh(Ln)} \right] \text{ donde } n = \sqrt{\frac{c}{a \cdot k}} \quad (2)$$

La ecuación (2) proporciona la temperatura en cualquier punto a lo largo del calefactor de corriente sujeto a convección a o desde su superficie, y conducción a través del calefactor a o desde sus terminales, cuando el calor es añadido o retirado uniformemente de este. Puede expresarse más apropiadamente a través de las propiedades eléctricas del calefactor de corriente, sustituyendo para w , la potencia generada por unidad de longitud en términos de la caída de tensión sobre el calefactor V , y su resistencia eléctrica $\frac{L \cdot \rho}{a}$, como se muestra en la siguiente ecuación [1]. Por simplicidad de representación $y = (L - x)$.

$$\theta = \frac{w}{ak} \cdot \left[\frac{\sinh(Ln) - \sinh(yn) - \sinh(xn)}{n^2 \sinh(Ln)} + \frac{T_1 \sinh(yn) + T_2 \sinh(xn)}{\sinh(Ln)} \right] \quad (3)$$

La tabla 1 presenta las características de la aleación, las dimensiones y la corriente aplicada al calefactor de corriente para describir la distribución de temperatura utilizando la ecuación anterior.

Tabla 1. Valores utilizados en el modelo matemático.

Aleación: Níquel-Cromo (80Ni-20Cr)		
Conductividad térmica	6 667	kS/m
Conductividad eléctrica	15	W/(mK)
Características del calefactor de corriente		
Longitud	20	mm
Ancho	300	μm
Espesor	50	μm
Corriente aplicada	0.1	A

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de este análisis permiten definir una geometría óptima del calefactor con respecto a la corriente que circula a través de este y analizar su distribución de temperatura. La figura 3 presenta la distribución de temperatura en el calefactor de corriente unifilar.

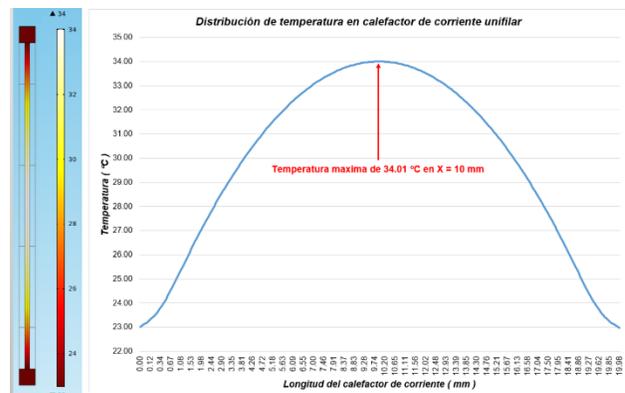


Fig. 3. Distribución de temperatura en calefactor de corriente unifilar.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta el análisis de la distribución de temperatura en un calefactor de corriente con respecto a su geometría y a las características intrínsecas del material utilizado para su construcción en película delgada.

REFERENCIAS

[1] W. N. Goodwin, R, The compensated thermocouple ammeter, A. I. E. E. committee on instruments and measurements, winter convention, New York, N. Y., Jan. 28-31, 1936.

[2] Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, Fourth Edition, ISBN: 0-471-30460-3.