

EVALUACIÓN DE TERMOPILAS COMO DETECTORES DE RADIACIÓN IR PARA UN CAPNÓGRAFO

J. Folgueras¹, A.E. Portela¹, M.A. García² y R.J. Escobar¹

¹ Instituto Central de Investigaciones Digitales, La Habana, Cuba

² Centro de Inmunoensayos, La Habana, Cuba
jfolgueras@icid.cu

RESUMEN

El empleo de un capnógrafo para monitorizar la variación de la concentración de CO₂ en el aire inhalado y espirado por un paciente es una práctica médica frecuente en la actualidad. En el trabajo se presenta la evaluación de termopilas semiconductoras como detectores de radiación infrarroja (IR) para esta aplicación. Se evaluó un total de 19 termopilas de dos tipos diferentes utilizando como transductor CO₂ voltaje una instalación experimental idéntica a la empleada en un capnógrafo la preparación de la versión electrónica de sus artículos. Se concluye que ambos tipos de termopilas pueden emplearse como sensores de radiación IR en el capnógrafo que desarrollan los autores del trabajo.

Palabras claves: Termopilas, concentración de CO₂, intensidad de la energía, radiación IR, capnógrafo.

ABSTRACT

Using a capnograph to monitor the CO₂ content of the air inhaled or exhaled by a patient is a current practice. The results of the evaluation of thermopiles as infrared (IR) radiation detectors is presented. Nineteen thermopiles of two different models were evaluated, with an experimental CO₂-voltage converter similar to the one being developed by the authors. It is concluded that both types of thermocouples can be used as IR radiation sensors in the capnograph under development.

Key words: Thermopiles, CO₂ concentration, energy intensity, IR radiation, capnograph.

1. INTRODUCCIÓN

La detección de radiación infrarroja (IR) encuentra aplicación en múltiples campos. Unas pocas de estas aplicaciones son: detectores de incendios, termómetros de radiación (sin contacto), detectores de llamas, analizadores de gases, analizadores de humedad, detección del cuerpo humano, detección de personas con temperatura corporal anormal, etc. Para la detección de la radiación están disponibles en la actualidad diversos dispositivos, que se fundamentan en ser transductores de la radiación que reciben convirtiéndola en una magnitud eléctrica proporcional a su intensidad. Ejemplo de estos son los dispositivos fotovoltaicos, fotorresistivos, diodos especiales, piroeléctricos, etc. Otro tipo es la termopila, que transforma la energía recibida en calor produciendo una variación de la temperatura que, a su vez, actúa sobre un conjunto de termopares generando un voltaje de salida [1].

La termopila es un dispositivo especializado formado por la unión serie de varias decenas de termopares. Resulta obligado pensar que, considerando dimensiones de los termopares ordinarios y las posibilidades típicas para su producción sería muy difícil, si no imposible, lograr este conjunto de termopares interconectados en un área pequeña inferior a 5 mm². La aplicación de las termopilas como detectores de radiación IR no es novedosa, pero sí de actualidad; prueba de ello la dan sus diversas aplicaciones ya mencionadas anteriormente.

La variante que se emplea con mucho éxito en la actualidad es fabricar la termopila con el auxilio de tecnologías típicas de la microelectrónica, donde los termopares ya no son discretos, sino integrados y con dimensiones micrométricas. Por esto es posible lograr un dispositivo sensible a la radiación IR con pequeñas dimensiones y valores razonables de la sensibilidad, todo en un volumen reducido.

En la figura 1 se muestra el esquema interno de una termopila formada por 44 termopares semiconductores [2].

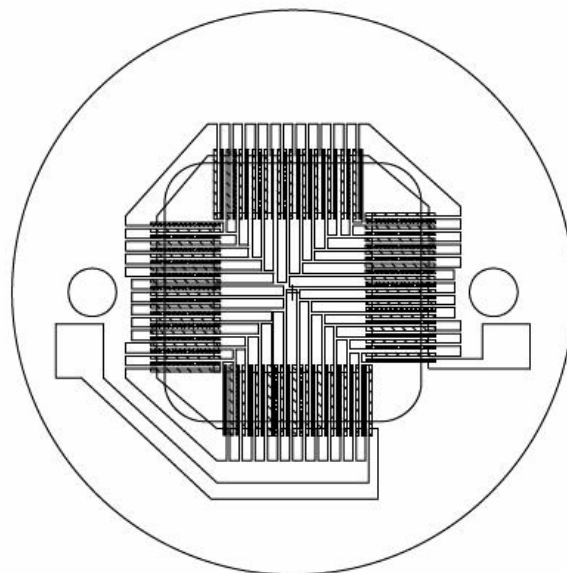


Fig. 1 Esquema interno de una termopila con varias decenas de termopares semiconductores. El área activa (al centro) es de 2x2 mm² y el diámetro del encapsulado TO5 es de 10,2 mm (círculo exterior) [2].

Al contrario de los termopares discretos en uso corriente, la tensión de salida de una termopila está en el orden de decenas de microvolt.

Los autores de este trabajo están desarrollando un capnógrafo para la determinación de CO₂ en el gas inspirado o espirado por una persona, lo que encuentra especial utilidad en estimar el estado de un paciente que se encuentra bajo anestesia profunda o que, habiendo tenido un paro cardíaco, fue desfibrilado y es trasladado al hospital.

El objetivo de este trabajo consistió en el ensayo de laboratorio de dos tipos diferentes de termopilas para evaluar su posible aplicación en el transductor de CO₂ para el capnógrafo que desarrollan los autores, empleando una instalación experimental semejante a la que se utiliza en este último.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizó un total de 19 termopilas semiconductoras, nueve del tipo X y diez del tipo Y, ambas con dimensiones reducidas y filtro pasa banda con $\lambda=4,26 \mu\text{m}$, longitud de onda para la cual el CO₂ presente en la muestra gaseosa analizada tiene el máximo valor de la absorbancia.

El diagrama de la instalación experimental empleada se muestra en la figura 2, formada por un espejo elíptico B al que se ha acoplado una lámpara

incandescente A con filamento de tungsteno [3] como fuente de radiación IR, de tal forma que el filamento de la lámpara coincide con un foco de la elipse. La radiación IR que emite la lámpara puede variarse cambiando el valor de la intensidad de su corriente de filamento. Por esta razón y para mantener constante el valor de la radiación IR, el filamento de la lámpara se alimentó con una fuente de corriente.

Los rayos incidentes en el espejo son reflejados y concentrados en el otro foco de la elipse, donde se encuentran la termopila y el filtro pasa-banda de 4,26 μm . Como respuesta a la radiación IR, la termopila C genera un voltaje de salida de pequeño valor, del orden de las decenas de micro-volt y es imprescindible emplear un amplificador D para lograr una señal de voltaje adecuada para ser aplicada al procesador que calcula la concentración de CO₂ en el gas analizado.

El adaptador E es atravesado por el gas que respira o espira el paciente, que absorbe radiación IR en dependencia de la concentración de CO₂. Por tanto, el voltaje de salida Vout del amplificador será dependiente de la radiación absorbida.

Se realizaron ensayos con y sin el adaptador, empleando dos tipos diferentes de adaptadores, lo que será objeto de un próximo trabajo.

A. Ganancia de voltaje del amplificador

Para las termopilas tipo X se empleó una ganancia de voltaje de 5000 para el amplificador D de la instalación experimental de la figura 2, mientras que en el caso de las termopilas tipo Y el valor de la ganancia de voltaje fue de 1000. Como objetivo, en ambos casos, se deseaba una señal a la salida del amplificador con un valor aceptable para su análisis posterior, entendiendo por aceptable un valor que pueda ser procesado por un conversor AD.

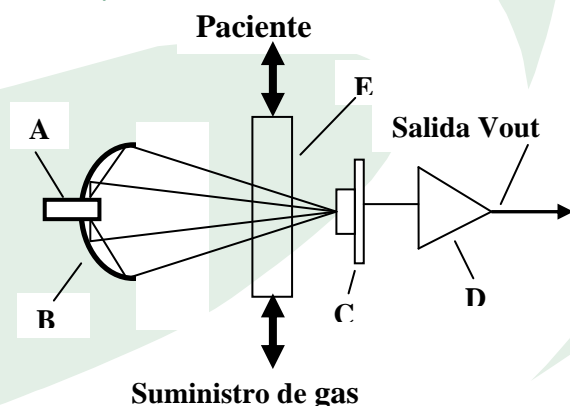


Fig. 2 Esquema simplificado de la instalación experimental. El flujo de gas inspirado o espirado por el paciente atraviesa el adaptador E, por lo que el

valor de Vout dependerá de la concentración de CO₂ en el gas analizado.

B. Dependencia del voltaje de offset con la temperatura

Se determinó la dependencia con la temperatura del voltaje de offset de cada conjunto termopila-amplificador, manteniendo la instalación de medición en un ambiente cerrado, con temperatura controlada con una precisión de $\pm 0,2$ K, en la gama de 298 K a 310 K (25 °C a 27 °C).

C. Característica transferencial

La pendiente de la característica transferencial del conjunto compuesto por la termopila y la lámpara incandescente puede interpretarse como la ganancia transferencial del sistema, expresada por la ecuación (1):

$$K_T = \frac{\Delta V_o}{\Delta I} \quad (1)$$

donde: KF es la ganancia transferencial del conjunto,

□VO es incremento en el voltaje de salida y

□I es el incremento en la corriente del filamento.

La corriente de filamento depende del valor de la fuente que lo alimenta, que se varió en incrementos de 0,1 V. Para el cálculo de KF se utilizó una aproximación lineal por tramos en las características V-I medidas, de acuerdo a las ecuaciones (2) y (3).

$$\Delta V_o = [V_{O(n+1)} - V_{O(n-1)}] / 100 \quad y \quad (2)$$

$$\Delta I = [I_{n+1} - I_{n-1}] / 100 \quad (3)$$

Se midió la tensión VO, para cada valor de la intensidad de la corriente de filamento. También se midió el voltaje de offset de cada salida a temperatura ambiente que, posteriormente, se restó de cada valor de VO para compensar su efecto y dibujar las curvas correspondientes.

3. RESULTADOS

En la figura 3 se ilustra el comportamiento del sistema de la figura 2 para las nueve termopilas X, corrigiendo el voltaje de offset de cada una de ellas, mientras que en la figura 4 se muestran los resultados correspondientes a las termopilas Y, donde se siguió el mismo procedimiento anterior.

El voltaje de offset medido promedio a temperatura ambiente (300 K) para V_{out} de las termopilas X fue de $1,07 \text{ V} \pm 0,02 \text{ V}$ mientras que, para las termopilas Y, se determinó un valor de $5,6 \text{ mV} \pm 0,05 \text{ mV}$.

Para las termopilas X, el valor máximo promedio del voltaje de salida medido V_{out} para las curvas mostradas en la figura 3 resultó igual a $3,49 \text{ V} \pm 0,2 \text{ V}$, mientras que para las termopilas Y, con las características de la figura 4, el valor fue de $0,7 \text{ V} \pm 0,02 \text{ V}$.

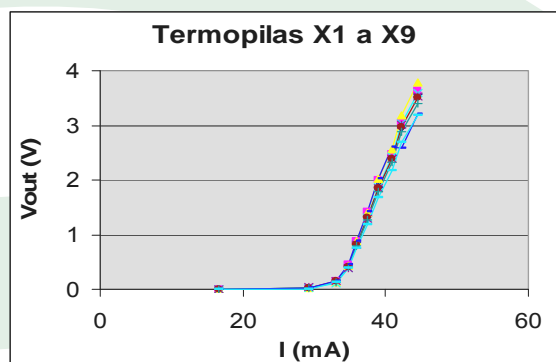


Fig. 3 Característica V-I del sistema de la figura 2 para las termopilas X.

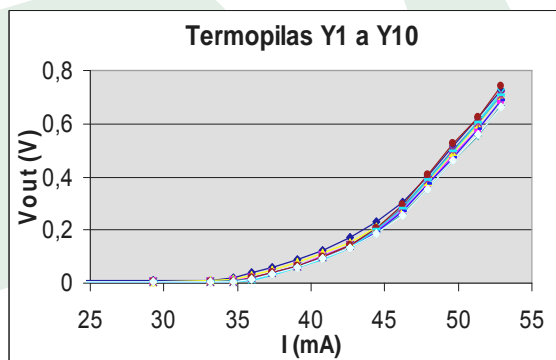


Fig. 4. Característica V-I del sistema de la figura 2 para las termopilas Y.

En la figura 5 se ha representado la dependencia de la ganancia transferencial KT con la intensidad de la corriente de filamento de la lámpara para la termopila X3.

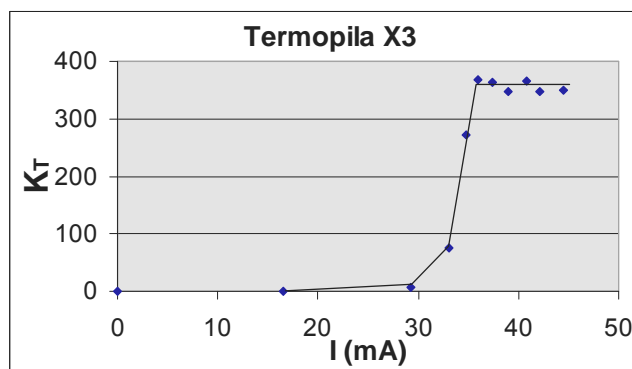


Fig. 5. Ganancia transferencial del sistema de la figura 2 para la termopila X3. La ganancia está expresada en \square .

De la característica transferencial de la figura 5 es necesario distinguir tres zonas.

1. Ganancia pequeña.
2. Ganancia creciente.
3. Ganancia constante.

4. DISCUSIÓN

Cada capnógrafo cuenta con un transductor de concentración de CO_2 a voltaje, que no es más que una instalación de medición igual a la de la figura 2, pero con un volumen reducido del orden de 20 cm^3 para facilitar su manipulación por el personal médico. Por consiguiente, no es difícil ver que cada transductor estará sujeto a las desviaciones individuales de las características del espejo, la lámpara incandescente y la termopila. Lo anterior, sin embargo se considera de poca trascendencia, puesto que cada transductor se calibra individualmente, disminuyendo la influencia de las variaciones en las características individuales de sus componentes.

En cuanto a las características mostradas en las figuras 3 y 4 se puede ver que para cada tipo de termopila existe una dispersión reducida en sus características V-I, que los autores de este trabajo consideran aceptable.

Los valores del voltaje de offset medidos son también aceptables para la aplicación a que se destinan las termopilas.

El hecho de tener una zona con valor de KT constante sugiere el empleo de un cierto valor de intensidad de corriente para la lámpara, de forma que el punto de operación estático se encuentre situado en esa zona. Todas las termopilas presentan una dependencia de KT semejante a la mostrada.

En el caso de las termopilas tipo X para valores de corriente superiores al máximo mostrado en la figura 3 (~ 50 mA) se comienza a producir la saturación del amplificador, lo que indica que la corriente del punto de operación del sistema debe ser inferior a este valor.

A modo de resumen, el objetivo de este trabajo se ha cumplimentado, puesto que los resultados mostrados con anterioridad permiten concluir que ambos tipos de termopilas pueden utilizarse ventajosamente en el sensor para capnografía, que desarrollan los autores, para detectar la concentración de CO₂.

5. CONCLUSIONES

Se han comparado entre sí dos tipos de termopilas semi-conductoras con el fin de evaluar su aplicabilidad como detectores de radiación IR en un sensor de capnografía.

Los resultados muestran que las características V-I de cada tipo son semejantes con una dispersión pequeña de la característica promedio. Los valores de voltajes de offset promedio son semejantes para cada tipo de termopila, con una dispersión pequeña como se describe en el trabajo.

Atendiendo a lo anterior se concluye que ambos tipos de termopilas pueden utilizarse ventajosamente en el sensor para capnografía, que desarrollan los autores, para detectar la concentración de CO₂.

REFERENCIAS

[1.] HAMAMATSU (2004). Characteristics and use of infrared detectors, Technical information SD12, <http://www.hamamatsu.com/>, consultado en junio 15, 2008.

[2.] Dexter Research Center Inc (2005). Thin film based thermopile detector,

<http://www.DexterResearch.com/>, consultado en Jun 15, 2008.

[3.] Folgueras J, Portela AE, García MA, Escobar JR (2009). Ensayo preliminar de lámparas incandescentes con filamento de tungsteno para un capnógrafo, presentado al VIII Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería, La Habana, Cuba.