

## Elección de técnica adecuada y optimización parcial de un experimento fotopiroeléctrico

R Ivanov, I. Moreno

Facultad de Física de la UAZ

Av. Preparatoria 301, Frac. Progreso, 98060. Zacatecas, Zac.

J. L. Pichardo-Molina

CIO

Loma del Bosque 115, Col. Lomas del Campestre, 37150. León, Gto.

G. Gutiérrez-Juárez, M. Vargas-Luna

IFUG

A. P. E-143, 37150, León, Gto.

(Recibido: 22 de agosto de 2005; Aceptado: 24 de noviembre de 2005)

Se presenta el estudio teórico de la sensibilidad de la técnica fotopiroeléctrica para las configuraciones directa (BPPE) e inversa (FPPE) en el modo voltaje. Los resultados obtenidos muestran, que la técnica BPPE es mejor para el caso en el que se quiera medir la difusividad térmica. Así mismo, para el caso de querer medir la efusividad térmica, las simulación muestran que la configuración BPPE es mas recomendable, siempre que el espesor de los materiales varíen entre 0.05 y 0.2mm, mientras que la FPPE es mas recomendable cuando los espesores de las muestras se encuentre entre 1 y 5mm.

*Palabras clave:* Error relativo; Fotopiroeléctrico; Preamplificador; Radiación modulada

We present the theoretical study of the sensitivity of the photopyroelectric technique for back (BPPE) and front (FPPE) configurations, in the voltage mode. The results obtained show that the BPPE configuration is better for the case in which experimentally the thermal diffusivity is measured. Also, the simulation shows that configuration BPPE is recommendable to measure the thermal effusivity if the thickness of the samples varies from 0.05 to 0.2 mm. On the other hand, when the thickness of the samples is in the range from 1 to 5 mm, the FPPE is more recommendable.

*Keywords:* Relative error; Photopyroelectric; Preamplifier; Modulated radiation

### 1. Introducción

Las técnicas fototérmicas (PT) han demostrado ser una herramienta útil para la caracterización óptica y térmica de los más diversos materiales, los cuales van desde semiconductores [1] hasta tejido humano [2, 3]. En particular, la técnica fotopiroeléctrico (PPE) [4] es una técnica fototérmica en la que la radiación electromagnética, que produce el efecto fototérmico, incide ya sea sobre la muestra o directamente sobre el sensor. En el primer caso estamos hablando de la configuración PPE directa (BPPE) [5, 6] mientras que en el segundo, de la inversa (FPPE) [7]. La señal generada por el detector, en cada una de estas configuraciones, se puede obtener tanto en modo voltaje como en modo corriente. En este trabajo enfocamos nuestra atención al caso de modo voltaje.

La caracterización térmica de materiales por medio de la técnica PPE, con ambas configuraciones, principalmente se ha enfocado a determinar dos parámetros térmicos, a saber, la efusividad ( $e$ ) y difusividad térmica ( $\alpha$ ).

Por otro lado desde el punto de vista metrológico, la sensibilidad de una señal experimental  $A$  que esta en función del parámetro  $B$  debe medir la variación que sufre  $A$  cuando se ha variado el parámetro  $B$ . Comparando la sensibilidad normalizada de varias técnicas con respecto de un parámetro térmico, se puede elegir el método más

adecuado para determinar su valor. En el caso de la técnica fotopiroeléctrica, el conocimiento de la sensibilidad permitirá optimizar parcialmente el experimento, donde la sensibilidad normalizada depende también del régimen de frecuencias y de los parámetros electrónicos del experimento.

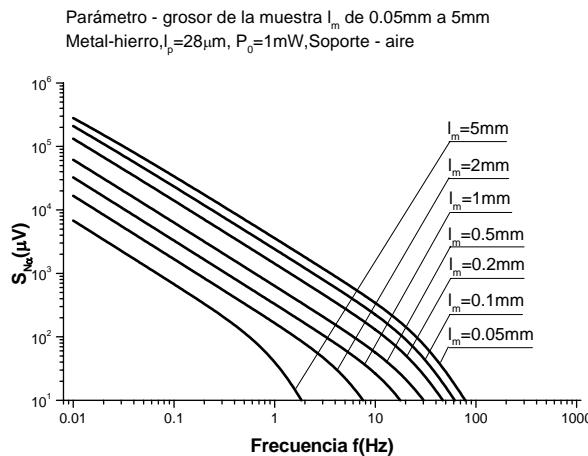
### 2. Desarrollo teórico

La sensibilidad de cada una de estas técnicas con respecto a cada uno de los parámetros térmicos ( $\alpha$  y  $e$ ) se define mediante las siguientes formulas:

$$S_\alpha = \frac{\alpha}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial \alpha} \right)_e \quad (1)$$

$$S_e = \frac{e}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial e} \right)_\alpha \quad (2)$$

donde  $S_\alpha$  y  $S_e$  son las sensibilidades con respecto a la difusividad y efusividad térmica, respectivamente, y  $V$  representa la señal fotopiroeléctrica medida experimentalmente. Ambas sensibilidades expresan la relación entre los cambios relativos de la señal experimental  $V$  y los cambios relativos de los parámetros



**Figura 1.** Sensibilidad normalizada de la señal fotopiroeléctrica con respecto a la difusividad térmica, en la configuración FPPE.

térpicos  $\alpha$  y  $e$ . Como se puede ver de las Ecs. (1) y (2) ambas expresiones son adimensionales.

Lamentablemente las sensibilidades, definidas de esta forma, no dan ninguna información sobre el valor de la señal experimental, esto tiene como consecuencia que, algunas veces valores grandes de la sensibilidad estén acompañados de valores pequeños del voltaje medido. Por eso es más conveniente usar una forma normalizada de las sensibilidades:

$$S_{N\alpha} = VS_\alpha = \alpha \left( \frac{\partial V}{\partial \alpha} \right)_e \quad (3)$$

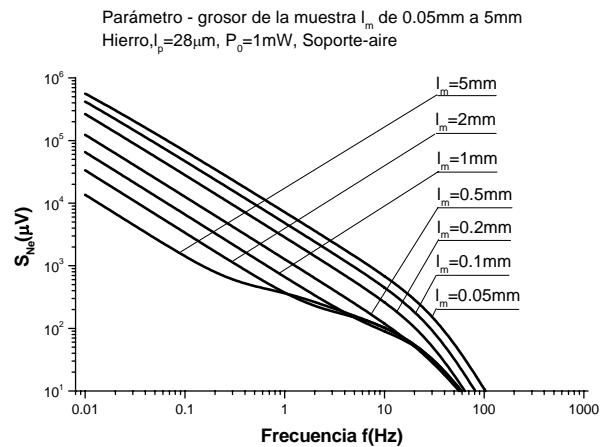
$$S_{Ne} = VS_e = e \left( \frac{\partial V}{\partial e} \right)_\alpha \quad (4)$$

Las unidades de las sensibilidades normalizadas  $S_{N\alpha}$  y  $S_{Ne}$  están en unidades de voltaje y dependen de la configuración de medición (BPPE o FPPE). También dependen del espesor de la muestra ( $l_m$ ) y de la frecuencia de modulación ( $f$ ). Esto nos da la posibilidad, por un lado, de elegir la técnica más apropiada para medir cierto parámetro térmico, y, por otro lado, determinar espesor de la muestra y el diapasón de frecuencias óptimos para una medición en particular.

La metodología que utilizaremos en ambas técnicas, BPPE y FPPE, consiste en comparar los valores de las sensibilidades normalizadas para un parámetro térmico concreto. El experimento se debe realizar con la técnica que posea la máxima sensibilidad normalizada.

### 3. Resultados

En las figuras 1 y 2 se muestran las sensibilidades normalizadas  $S_{N\alpha}$  y  $S_{Ne}$  para la configuración BPPE, en el modo voltaje. Para calcular los valores de las sensibilidades en la esta configuración, se utilizó el modelo de absorción superficial en el piroeléctrico, de Dadarlat y Frandas [8]. La variable en la modelación de  $S_{N\alpha}$  y  $S_{Ne}$  es la frecuencia,



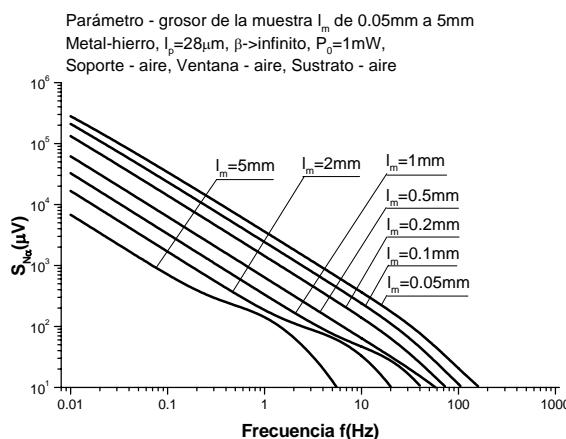
**Figura 2.** Sensibilidad normalizada de la señal fotopiroeléctrica con respecto a la efusividad térmica, en la configuración FPPE.

y como parámetro de las familias de las curvas características es el espesor de la muestra,  $l_m$ , el cual toma los valores 0.05, 0.2, 1 y 5 milímetros. Los resultados corresponden a una muestra de hierro con parámetros térmicos  $\alpha_s = 2.041 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$  y  $e = 15,928 \text{ W s}^{1/2} / \text{m}^2 \text{K}$  [9, 10]. La superficie de la muestra está cubierta con capa muy fina de pintura negra, por eso la muestra es óptimamente opaca y absorbe completamente la luz. El sensor piroeléctrico que se utilizó en la modelación fue una lámina de PVDF de  $28\mu\text{m}$  de espesor. El soporte de la muestra fue aire y se utilizó una potencia del láser de 1mW.

En las figuras 3 y 4 se muestran las graficas para las sensibilidades normalizadas  $S_{N\alpha}$  y  $S_{Ne}$  en la configuración FPPE. Nuevamente, todos los cálculos de esta modelación se hicieron para el modo voltaje, utilizando los resultados del artículo de Chirtoc y Mihailescu [11]. Para esta configuración todos los parámetros (difusividad y efusividad térmica de la muestra, los espesores de la misma, el sensor, su espesor, el soporte de la muestra y la potencia de la radiación incidente) fueron los mismos que el caso anterior. Aquí, también se supone que tanto el sustrato como la ventana, que se manejan en las expresiones de la señal PPE del modelo de Chirtoc y Mihailescu, es aire.

Cabe mencionar que, en un experimento fotopiroeléctrico típico las frecuencias utilizadas usualmente están en el diapasón de frecuencias 0.1Hz–100Hz. Experimentos con frecuencias por debajo de 0.1Hz, requieren de un tiempo muy largo de adquisición, esto se debe al valor tan grande de la constante de tiempo característico del filtro pasa-baja del Lock-in [12]. Adicionalmente, en el modo voltaje, en cualquier rango de frecuencias, se necesita un pre-amplificador con resistencia de entrada por arriba de  $1\text{T}\Omega$ . En la configuración inversa, mediciones por arriba de 100Hz no son recomendables, porque el piroeléctrico se vuelve térmicamente grueso.

De la comparación de la figura 1 y 3 se concluye que, para el diapasón de frecuencias más usado 0.1Hz–100Hz, los valores de la sensibilidad normalizada  $S_{N\alpha}$  son mayores



**Figura 3.** Sensibilidad de la señal fotopiroeléctrica con respecto a la difusividad térmica, en la configuración BPPE.

para la configuración directa. Por eso es preferible medir la difusividad térmica  $\alpha$ , mediante la técnica directa BPPE.

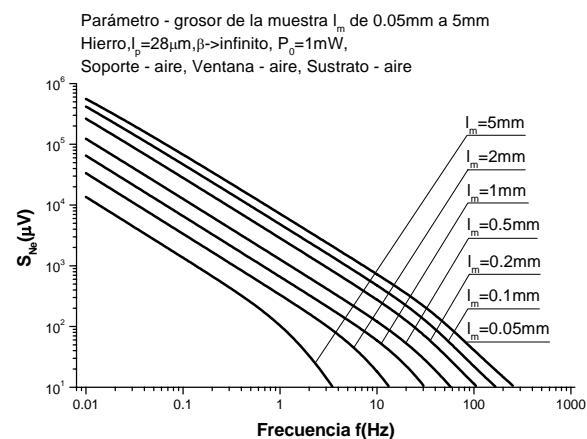
Si se comparan las figuras 2 y 4, se puede ver, que para el mismo diapasón de frecuencias, la sensibilidad normalizada  $S_{Ne}$  para ambas técnicas da resultados mixtos. Si el objetivo es encontrar el valor de la efusividad  $e$ , la técnica BPPE es preferible para los espesores de la muestra de 0.05mm a 0.2mm. Pero para espesores 1mm a 5mm la situación es opuesta: es mejor hacer mediciones con la técnica FPPE.

Con la ayuda de las sensibilidades normalizadas  $S_{Na}$  y  $S_{Ne}$  también se pueden optimizar los valores del espesor de la muestra y la frecuencia de trabajo. Todas las figuras muestran, que sin excepción los valores de ambas sensibilidades normalizadas disminuyen con el aumento de la frecuencia. Por eso es recomendable trabajar en el diapasón 0.1Hz–10Hz. Este diapasón es bastante amplio para ejecutar un ajuste exitoso y no contiene frecuencias por arriba de 25Hz, donde el piroeléctrico de PVDF usado en esta simulación es térmicamente grueso [13].

También todas las figuras muestran, que los valores de las sensibilidades normalizadas  $S_{Na}$  y  $S_{Ne}$  aumentan si el espesor de la lámina de metal disminuye. Entonces es preferible trabajar con láminas de metal delgadas.

#### 4. Conclusiones

Las sensibilidades normalizadas  $S_{Na}$  y  $S_{Ne}$  pueden, para cada caso concreto, ayudar en la elección entre ambas configuraciones experimentales de la técnica fotopiroeléctrica (IPPE y FPPE). Cuando el objetivo del experimento es encontrar la difusividad térmica de la muestra, es preferible trabajar con la configuración fotopiroeléctrica directa. Si el propósito es obtener información sobre la efusividad térmica de la muestra, la respuesta depende de su espesor. El diapasón óptimo de frecuencias es de 0.1Hz hasta 10Hz y es recomendable experimentar con láminas delgadas.



**Figura 4.** Sensibilidad de la señal fotopiroeléctrica con respecto a la efusividad térmica en la configuración BPPE.

#### Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente apoyado por CONACyT bajo el convenio SEP-2003- CONACYT-44058.

#### Referencias

- [1] J. E. de Albuquerque, P. M. S. de Oliveira and S. O. Ferreira, In Proc. 13<sup>th</sup> International Conference on Photoacoustic and Photothermal Phenomena, ICPPP, Rio de Janeiro, Brazil. pp 169-171.
- [2] G. Gutiérrez-Juárez, M. Vargas-Luna, T. Cordova Fraga, J. B. Varela, J. J. Bernal-Alvarado and M. Sosa, Physiol. Meas. **23**, 521 (2002).
- [3] G. Gutiérrez-Juárez, J. L. Pichardo-Molina, L. N. Rocha-Osorno, R. Huerta-Franco, R. Ivanov, B. Huerta-Franco, T. Córdova-Fraga, and M. Vargas-Luna, In Proc. 13<sup>th</sup> International Conference on Photoacoustic and Photothermal Phenomena, ICPPP, Rio de Janeiro, Brazil. J. de Physique IV, **125**, 729 (2005).
- [4] M. Chirtoc, and G. Mihailescu, Phys. Rev. B, **40**, 9606 (1989).
- [5] M. Chirtoc, V. Tosa, D. Bicanic, P. Torfs, Phys. Chem., **95**, 766 (1991).
- [6] D. Dadarlat, M. Chirtoc, C. Nematu, R.M. Candea, D. Bicanic, Phys. Stat. Sol., **121**, 231 (1990).
- [7] D. Dadarlat, D. Bicanic, H. Visser, F. Mercuri, A. Frandas, JAOCS, **72**, 273 (1995).
- [8] D. Dadarlat, A. Frandas, Applied Physics A: Solids and Surfaces, **56**, 235 (1993).
- [9] Y. S. Touloukian, R. W. Powell, C. Y. Ho y M. C. Nicolaou, The TPRC Data Series.. THERMAL DIFUSIVITY. IFI plenum **10**, 1973.
- [10] Y. S. Touloukian, R. W. Powell, C. Y. Ho y P. G. Klemens, The TPRC Data Series. THERMAL CONDUCTIVITY Nonmetallic Solids, IFI plenum. **2**, 1970.
- [11] M. Chirtoc, G. Mihailescu, Phys. Rev. B, **40**, 9607 (1989).
- [12] Model SR830 Lock-in Amplifier, Stanford Research Systems, www.sr.com
- [13] Piezo Film Sensors Technical Manual, Measurements Specialties, Inc, www.msiusa.com