

EFUSIVIDAD TÉRMICA DE ORINA CON NIVEL DE ANTÍGENO PROSTÁTICO ESPECÍFICO DE 9.3 ng.ml⁻¹

URINARY THERMAL EFFICIENCY WITH SPECIFIC PROSTATE ANTIGEN LEVEL OF 9.3 ng.ml⁻¹

J.L. González-Domínguez¹, A. Cruz-Orea¹, I. Rojas-Esquivel², C. Hernández-Aguilar³ A. Domínguez-Pacheco³

RESUMEN

Este trabajo estudia la caracterización térmica de la orina humana con un nivel de Antígeno Prostático Específico (PSA, por sus siglas en inglés) de 9.3 ng.ml⁻¹ mediante la obtención de su efusividad térmica con la técnica de celda foto-piroeléctrica. El estudio se realizó con material biológico obtenido de un paciente del sexo masculino de 54 años de un hospital público en el norte de la Ciudad de México. El montaje experimental para la técnica de celda foto-piroeléctrica consta de una fuente de radiación láser, fibra óptica, una célula piroeléctrica, una computadora personal y un amplificador *lock-in*. La técnica foto-piroeléctrica permitió obtener tanto la amplitud como la fase de la señal piroeléctrica de muestra. A partir del ajuste de la expresión teórica a los datos experimentales, fue posible calcular la efusividad térmica de la orina humana con esa concentración de PSA. En ambos casos, tanto para la amplitud como para la fase, se obtuvo el porcentaje de error del análisis estadístico de la prueba y el margen de error.

Palabras clave: Orina humana, efusividad, caracterización térmica.

ABSTRACT

This work studies the thermal characterization of human urine with a Prostatic Antigen Level (PSA) of 9.3 ng.ml⁻¹ by obtaining its thermal effusivity from the photopyroelectric technique. The study was conducted with biological material obtained from a male patient of 54 years old of a public servant hospital in the north of Mexico City. The technical setup for the photo-pyroelectric technique consists of a laser radiation source, optical fiber, one pyroelectric cell, a personal computer and a lock-in amplifier. Photopyroelectric technique let obtain both the amplitude and the phase of the pyroelectric signal of samples. From the fit of the theoretical expression to the experimental data, it was possible to calculate the thermal effusivity of human urine with that level of PSA. Both, the percentage error from the statistical analysis of the test and the margin of error were obtained.

Key words: Human urine, effusivity, thermal characterization.

(1) Centro de Investigación y Estudios Avanzados- IPN. (2) Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado, Servicio de Urología del Hospital 1 de Octubre, Cd. México; (3) Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zacatenco, Cd. de México.

Recibido: 5-noviembre-2016 / Aceptado: 15-diciembre-2016.

INTRODUCCIÓN

La detección foto-piroeléctrica es una de las técnicas fototérmicas que permite la caracterización térmica y óptica de los materiales. El efecto foto-piroeléctrico es la inducción de una polarización espontánea en un cristal piezoeléctrico no centro-simétrico como resultado de un cambio en la temperatura de dicho cristal. La teoría y la modelación matemática del efecto

photopyroelectric fueron presentados por (Mandelis, 1985). La efusividad térmica es una medida de la capacidad de un material para el intercambio de energía térmica con su medio ambiente (Eindhoven University of Technology, 2009). También se conoce como el coeficiente de penetración del calor. Algunos autores la definen como la velocidad a la que un material puede absorber calor. Además, afirma que esta es la propiedad que determina la temperatura de contacto de dos

cuerpos que se tocan (Lasance, 2007). Es una función de la conductividad térmica (κ), y la capacidad térmica volumétrica ($\rho \cdot C_p$). Matemáticamente se define como $e = (\kappa / \rho \cdot C_p)^{1/2}$.

El efecto piroeléctrico se había utilizado para el estudio de material biológico, incluso antes de su modelado matemático. Diversas investigaciones han reportado la observación del fenómeno en tejidos animales tan diversos como los anfibios (Li, 2004) y los mamíferos (Rosa, 2003) y en tejidos vegetales (Liu, 2013) que van desde las algas hasta los árboles. También se ha reportado su presencia en los órganos de los sentidos. Por lo tanto, se puede establecer que el efecto piroeléctrico es una propiedad esencial y universal de los sistemas biológicos (Lang, 1981).

MATERIALES Y MÉTODOS

El material biológico para este estudio- orina humana - se obtuvo de un hospital público en el norte de la Ciudad de México. De entre las muestras se escogió la orina de un sujeto de 54 años de edad con un nivel de PSA de 9.3 ng.ml^{-1} , determinación hecha previamente mediante la técnica convencional de electroquimioluminiscencia, en virtud a que rebasa el punto de inflexión de los 4.0 ng.ml^{-1} señalado como punto indicativo de posible cáncer de próstata (Hernández, 2004). Las muestras se observan en la Figura 1.

El experimento se llevó a cabo primero sólo con aire con el fin de realizar posteriormente la normalización. El haz de luz varió de 1 a 1000 Hz. Los datos se normalizaron y la

ecuación teórica de efecto foto-piroeléctrico se ajustó a los datos experimentales. A continuación, se colocaron 2 ml de la muestra -orina humana con un nivel de PSA de 9.3 ng.ml^{-1} - en la celda para su caracterización. La técnica foto-piroeléctrica permitió obtener tanto la amplitud como la fase de la señal de piroeléctrica de la muestra en cuestión. A partir del ajuste de la expresión teórica a los datos experimentales tanto para amplitud como para la fase, fue posible calcular la efusividad térmica. En ambos casos se obtuvo el porcentaje de error del análisis estadístico de la prueba y el margen de error.

Figura 1.
Muestras de orina humana



Fuente: Elaboración Propia.

La normalización de datos se realizó con el apoyo de software *OriginPro* mientras que el ajuste se llevó a cabo con la ayuda de paquete *gnuplot* para realizar el ajuste y generar los gráficos a partir de los datos. El programa utilizado para tal ajuste se muestra en la Figura 2.

Figura 2.
Programa para el ajuste de datos

```

Archivo Edición Formato Ver Ayuda
reset
i=sqrt(-1);
alpha_p=5.7e-8;
e_p=540;
e_g=5.51;
e_s=1577;
a_p(x)=sqrt(pi*x/alpha_p);
l_p=0.000009;
sigma_p(x)=(1+i)*a_p(x);
g=e_g/e_p;
b=e_s/e_p;
cte1=0.764432;
expo_p(x)=exp(sigma_p(x)*l_p);
exponeg_p(x)=exp(-(sigma_p(x)*l_p));
D(x)=(1-expo_p(x))*(1+b)+(exponeg_p(x)-1)*(1-b);
F(x)=(g-1)*(exponeg_p(x))*(1-b)+(1+g)*(expo_p(x))*(1+b);
N(x)=(1-expo_p(x))*(1+g)+(exponeg_p(x)-1)*(1-g)/((1-g)*(g-1)*exponeg_p(x)+((1+g)**2)*expo_p(x));
G(x)=(D(x)/F(x));
H(x)=(G(x)/N(x));
phi_0=-1.40;
AMPLI(x) = cte1*abs(H(x));
FASE(x)=arg(H(x))+phi_0;
COMPLEX(x,y)=(y==0) ? AMPLI(x) : FASE(x)

#####

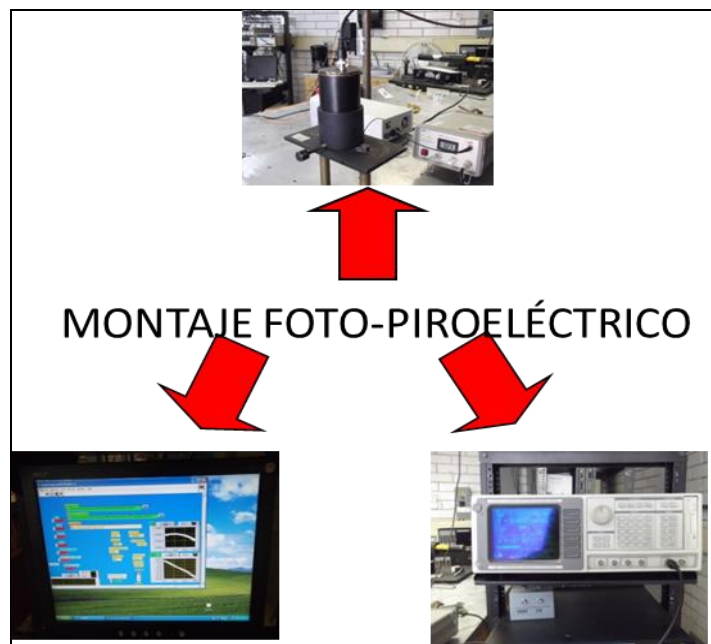
fit [37:202] COMPLEX(x,y) 'c:\Users\José Luis\PhD\INVESTIGACIÓN\EXPERIMENTO 5 PIROELCTRICO\NORMA-SUERO-PAC44-160113.dat' u 1:
set xrange [37:202];
plot AMPLI(x) , 'G:\NORMA-SUERO-PAC7-160113.dat' u 1:($2);
plot FASE(x) , 'G:\NORMA-SUERO-PAC7-160113.dat' u 1:($3);

#####

set table;
set output 'C:\Users\José Luis\PhD\INVESTIGACIÓN\EXPERIMENTO 5 PIROELCTRICO\NORMA-SUERO-PAC44-160113-AIREFITAC.DAT';
plot AMPLI(x);
set output 'C:\Users\José Luis\PhD\INVESTIGACIÓN\EXPERIMENTO 5 PIROELCTRICO\NORMA-SUERO-PAC44-160113-AIREFITFC.DAT';
plot FASE(x);
    
```

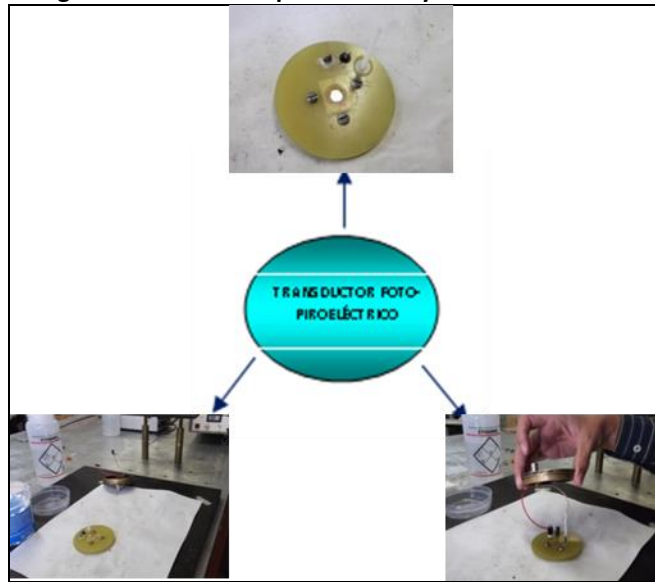
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.
Montaje experimental mediante la técnica foto-piroeléctrica.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.
Arreglo de la celda foto-piroeléctrica y el transductor PVDF.



Fuente: Elaboración propia.

MONTAJE EXPERIMENTAL

El montaje experimental mediante la técnica foto-piroeléctrica consiste en una fuente de radiación láser, una fibra óptica, una célula piroeléctrica, una computadora personal cargada con software Labview y un amplificador *lock-in*. El transductor piroeléctrico es una película de poli-vinil-difluoruro (PVDF) de la compañía Goodfellow Cambridge Ltd. y tiene un espesor de 25 micras. La Figura 3 muestra la configuración experimental de la técnica de detección foto-piroeléctrica. Este equipo permite la obtención de la efusividad térmica del material en estudio.

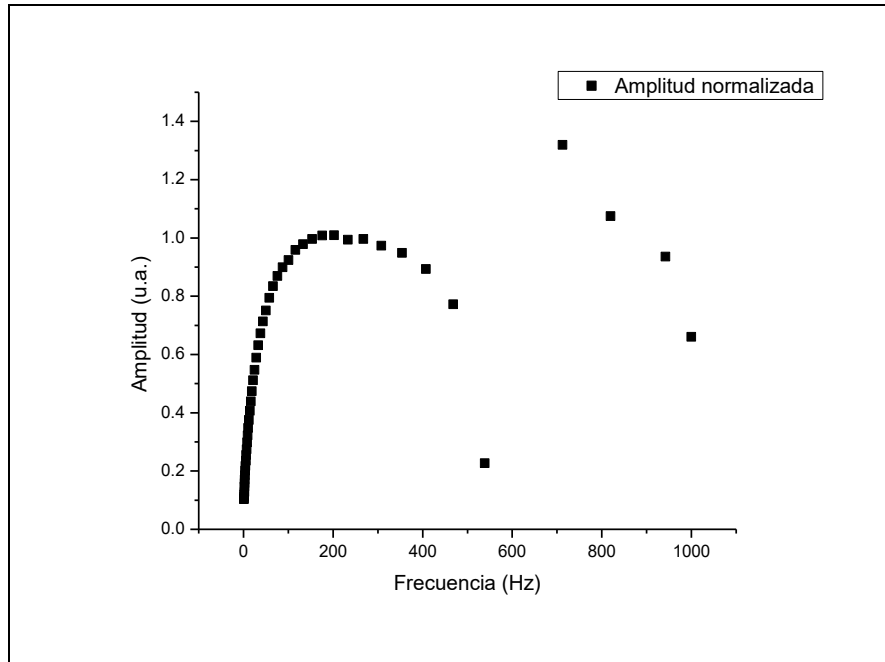
Este transductor está situado entre dos placas circulares de circuito impreso de fibra de vidrio. En la parte superior del sándwich hecho por ambas placas y la película PDVF, salen los contactos eléctricos que darán la

señal piroeléctrica y el soporte de dicha célula. Este arreglo de la película del PVDF, las placas circulares, los contactos y el soporte se puede ver en la Figura 4.

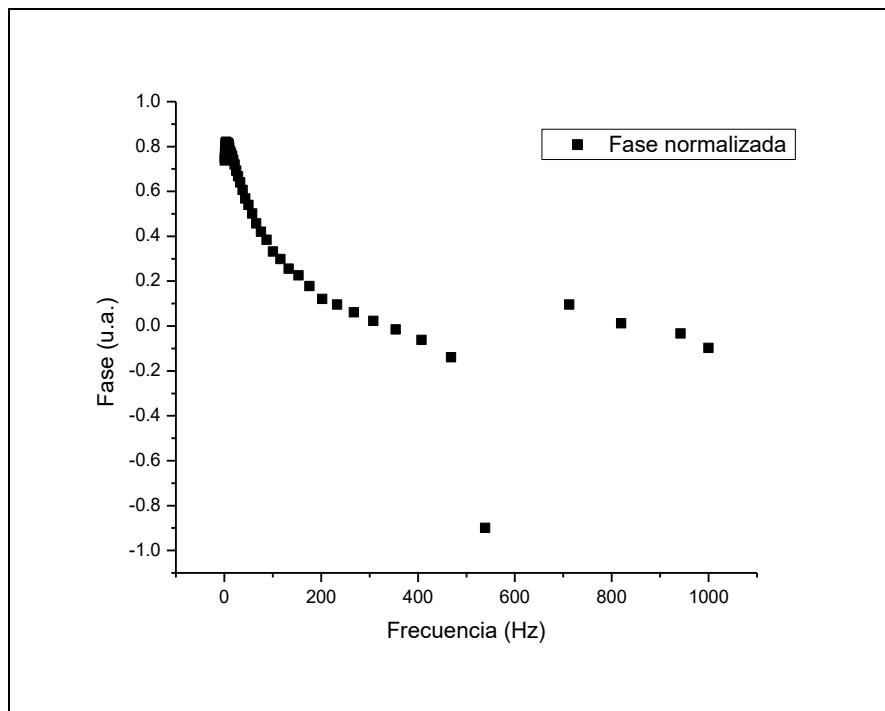
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La técnica foto-piroeléctrica permitió obtener tanto la amplitud como la fase de la señal piroeléctrica de la orina humana. Debe tenerse en cuenta que la muestra debe ser térmicamente gruesa y la película de PVDF térmicamente delgada. Ambos requisitos se cumplen. Los datos obtenidos se normalizaron con respecto a la corrida con la celda sin ninguna muestra, sólo con aire. Tanto las señales de amplitud como de fase de los datos experimentales, una vez normalizados, se indican en la Figura 5. Los espectros se observan en toda la gama de frecuencias del experimento, de 1 a 1000 Hz.

Figura 5.
Espectro obtenido



(a) Espectro de la amplitud de los datos normalizados

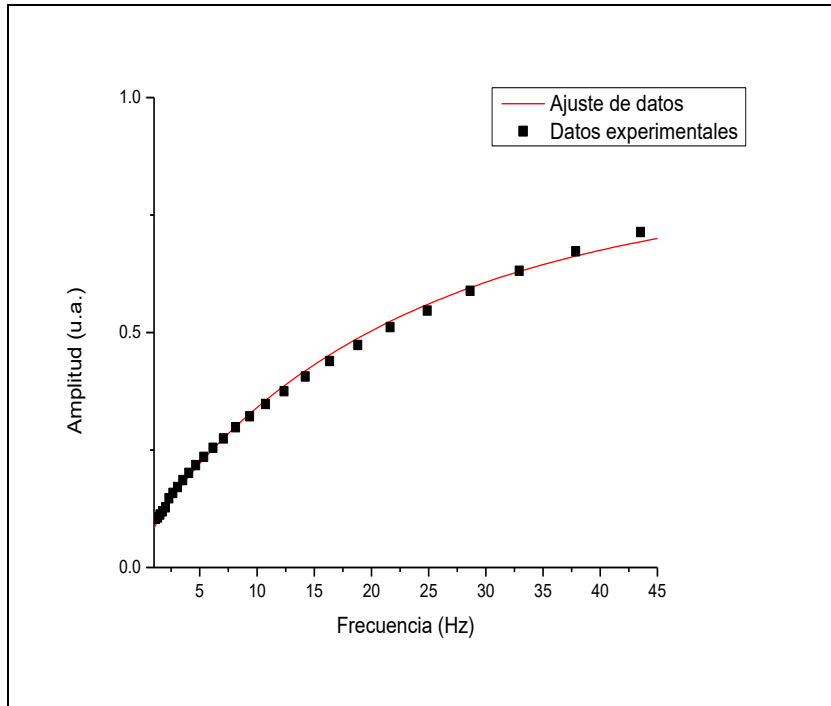


(b) Espectro de la fase de los datos experimentales normalizados.

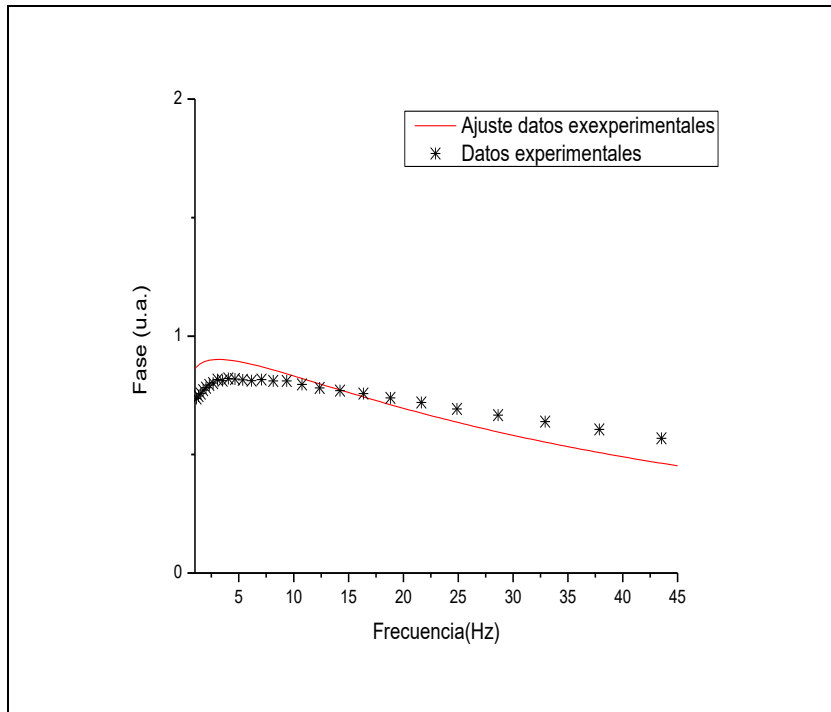
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.

Ajuste de la expresión teórica a los datos experimentales



(a) Ajuste de la amplitud de la expresión teórica a los datos experimentales



(b) Ajuste de la fase de la expresión teórica a los datos experimentales.

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos se ajustaron con el software gnuplot para obtener el mejor ajuste del modelo teórico a los datos experimentales, teniendo en cuenta el intervalo de frecuencias donde la muestra es térmicamente gruesa y la película de PVDF térmicamente delgada, en este caso de 1 Hz a 45 Hz. La figura 6 muestra el mejor ajuste de la expresión teórica a los datos experimentales, tanto para la señal de amplitud como de la fase.

Los puntos corresponden a los datos experimentales, en tanto que la línea continua corresponde al mejor ajuste del modelo teórico a los datos experimentales.

La efusividad térmica se calcula a partir del producto del parámetro "b" multiplicado por la efusividad térmica de la película del piroeléctrico:

$$es = bep$$

$$es = (2.98519)(530)(Ws^{1/2})/(m^2K)$$

$$es = 1,582.15 (Ws^{1/2})/(m^2K)$$

con un error asintótico de 3,76%. Este hallazgo es coherente con la efusividad térmica reportada para el agua (Chirtoc, 1991), teniendo en cuenta que la mayor parte de la orina humana es precisamente agua.

CONCLUSIONES

Se caracterizó térmicamente orina humana con un nivel de Antígeno Prostático Específico de 9.3 ng.ml⁻¹ mediante la técnica de detección foto-piroeléctrica. La efusividad térmica media obtenida fue de 1,582.15 (Ws^{1/2}) / (m²K) con un error promedio de

margen de 3,76%. También se obtuvo señal foto-piroeléctrica tanto en amplitud como en fase. Otros experimentos diferentes poblaciones son necesarios para corroborar estos resultados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional y a la Sección de Investigación y Estudios de Posgrado de la de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. También al CONACYT tanto por el proyecto N° 241330 como por la beca de postdoctorado de José Luis González Domínguez.

REFERENCIAS

- Chirtoc, M. T. (1991). *The Inverse Photopyroelectric Technique for the Measurement of Concentration and Transport Properties in Binary Systems: The Thermal Effusivity of Ethanol-Water Mixtures*. Chirtoc, M., Toşa, V., Bićanić, D., & Torfs, P. (1991). *The Inverse Photopyroelectric Technique for the Measurement of Concentration and Transport* *Berichte der Bunsengesellschaft*, 95(7), 766-769.
- Eindhoven University of Technology. (2009). *Impact of thermal diffusivity and thermal effusivity*. En Course book (págs. 1-16).
- Hernández, J. A. (2004). "Prostate-specific antigen: a review of the validation of the most commonly used cancer biomarker". *Journal of cancer*, 894-903.
- Lang, S. B. (1981). *Pyroelectricity: Occurrence in biological materials and possible physiological implications*. *Ferroelectrics*, 3-9.
- Lasance, C. J. (1 de 11 de 2007). *The Need for a Change in Thermal Design Philosophy, Electronics Cooling*, Recuperado el 1 de 09 de 2016, de <http://www.electronics-cooling.com/2007/11/thermal-effusivity/>
- Li, H. L. (2004). *Studies on bullfrog skin collagen*. *Food chemistry*, 84(1), 65-69.
- Liu, F. N. (2013). *Kinetic characterization and thermal inactivation of peroxidase in aqueous extracts from sweet corn and waxy corn*. *Food and Bioprocess Technology*, 6(10), 2800-2807.
- Mandelis, A. &. (1985). "Theory of photopyroelectric spectroscopy of solids". *Journal of applied physics*, 1: 4421-4430.
- Rosa, F. P. (2003). *Tissue response to polyanionic collagen: elastin matrices implanted in rat calvaria*. *Biomaterials*, 24(2), 207-212.