

# Identificación de la Frecuencia Respiratoria por Medio de un Sistema Optoelectrónico

Miguel Ángel Gómez-Herrera<sup>1\*</sup>, C.Torres-Torres<sup>1\*\*</sup>, M. Trejo-Valdez<sup>2</sup> y G. Urriolagoitia-Sosa<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIME-Z, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. 07738.  
<sup>2</sup>ESIQIE, Instituto Politécnico Nacional Zacatenco, México, D.F. 07738.  
\*mikrobot@gmail.com; \*\*ctorrest@ipn.mx

## Resumen

*La medición de la frecuencia respiratoria llega a ser de gran utilidad para pronósticos médicos. Avances en el uso de sistemas electrónicos para la adquisición de estos datos incluyen la investigación basada en las propiedades mecánicas que se pueden obtener al estudiar el sistema respiratorio. En este trabajo el ritmo respiratorio fue simulado por un sistema mecánico y las señales se miden con una configuración optoelectrónica simple. Los resultados experimentales permiten visualizar la frecuencia de las oscilaciones, finalmente se propone un sensor nanoestructurado ultra rápido con nanopartículas de oro.*

**Palabras clave:** Biomecánica, Diodo Láser, Sensores Ópticos.

## 1. Introducción

Algunas de las tendencias de investigación más atractivas de la nanomedicina están relacionadas con el uso de sistemas ultra rápidos y autónomos. Se han realizado numerosos trabajos asociados con nuevos materiales para el desarrollo de nuevos sensores y técnicas con el fin de obtener información para la predicción y diagnóstico de las condiciones vitales. Se han conseguido funciones biomédicas orientadas a aplicaciones terapéuticas [1].

La frecuencia respiratoria de un ser se define como las veces que éste inhala y exhala oxígeno (ciclo de respiración: se contraen y se expanden los pulmones) por unidad de tiempo, normalmente en respiraciones por minuto.

En condiciones de reposo la frecuencia respiratoria alcanza uno valores medios de 12 respiraciones por minuto [2].

Cuando iniciamos un ejercicio físico ligero, nuestros músculos realizan más contracciones que cuando estamos en reposo, este aumento del número de contracciones significa que demandan más energía

y oxígeno, las pulsaciones también suben y por lo tanto también el gasto cardiaco; lo anterior para poder ofrecer el oxígeno extra que demanda el organismo y entonces el cuerpo aumenta la frecuencia respiratoria. En un trabajo ligero la frecuencia suele ser de unas 12 respiraciones por minuto.

Al aumentar la intensidad del ejercicio a un nivel medio, los requisitos de oxígenos son mayores y la frecuencia respiratoria sube hasta los 22 ciclos respiratorios por minuto; cuando la intensidad es casi máxima el número de ciclos respiratorios puede llegar a las 35 repeticiones por minuto [3].

En este trabajo se midieron las perturbaciones mecánicas que simulan diferentes frecuencias respiratorias, un simple sistema optoelectrónico se elaboró con el fin de identificar automáticamente la periodicidad mecánica de las señales adquiridas. Los resultados experimentales nos permiten proponer un sensor nanoestructurado ultra rápido basado en nanopartículas de oro con aplicaciones potenciales en la nanomedicina.

## 2. Experimento

Durante este trabajo se llevaron a cabo tres etapas. Como primera parte se diseñó un sistema de instrumentación para la adquisición de datos. En segundo lugar se realizó un sistema para la simulación de la frecuencia respiratoria. Finalmente se estudió una muestra con nanopartículas con la finalidad de proponer un sensor óptico ultra rápido.

Para la implementación del sistema de instrumentación y adquisición de datos se utilizó un sensor de luz TEMT6000, un multímetro digital MUL-057 y se empleó un sistema láser semiconductor con 1mW de potencia y una longitud de onda de 650nm.

La fuente de alimentación de voltaje para el sistema láser se diseñó en el sentido de la conducción de corriente normal. En este sistema láser se considera que es linealmente polarizado con una

emisión de radiación coherente ideal. En la figura 1 se muestra el láser en el montaje utilizado para el propósito experimental.



Fig. 1. Láser rojo con longitud de onda de 650 nm.

El sensor de luz ambiental TEMT6000 lee los valores de la señal analógica 0, el valor obtenido es proporcional a la cantidad de luz que incide en el área activa en la superficie del sensor.



Fig. 2. Sensor de luz ambiental TEMT6000.

### 3. Medición de la frecuencia respiratoria

El procedimiento de la simulación de la respiración se realizó por medio de un sistema compuesto por un globo común conectado a una bomba de mano. La bomba modula la cantidad de aire dentro del globo con la acción de inflar y desinflar.

Con la finalidad de detectar las variaciones mecánicas del globo mediante la técnica láser, fue colocado un espejo en un área pequeña del globo.

El haz de luz es enfocado hacia el espejo, y el haz reflejado es orientado hacia el sensor optoelectrónico. El sensor absorbe el haz reflejado; vale la pena señalar que la alineación del sensor tiene la finalidad de identificar las pequeñas perturbaciones mecánicas emitiendo cambios de voltaje a la salida del sensor.

La señal de salida del sensor (voltaje) es enviada directamente al multímetro. La ausencia de incidencia total del haz de luz en el sensor fue calibrada para obtener la tensión máxima y mínima que se muestra en el multímetro. Con el movimiento del globo los ángulos de incidencia y reflexión cambian, provocando así que la cantidad de luz captada por el sensor se modifique generando variaciones de voltaje.

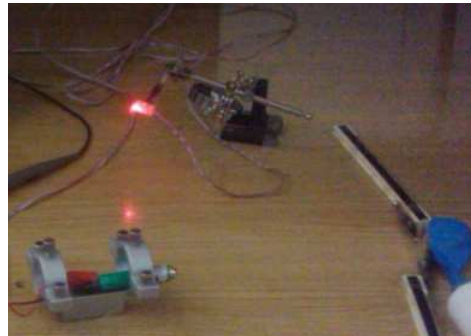


Fig. 3. Sistema optoelectrónico para la medición de la frecuencia respiratoria.

La técnica de preparación ha sido reportada previamente [4]. Este método de preparación consiste en tomar una solución de  $Ti(OC_3H_7)_4$  cuya concentración es  $C = 0.05$  Mol/L,  $pH = 1.25$ , junto con una mezcla de agua/alca-óxido cuya razón de concentración molar ( $r_w$ ) es 0.8. La solución resultante, la cual es llamada SG1, es almacenada en obscuridad por al menos una semana antes de pasar a la etapa de síntesis. La solución precursora de las nanopartículas de oro fue una solución Aldrich estándar con una concentración nominal de oro de 1000 mg/L. Un pequeño volumen de esta última solución fue agregado con la técnica de goteo a un recipiente que contenía la solución SG1; posteriormente fue agitada la solución resultante con una paleta agitadora magnética.

La razón molar de la mezcla resultante de  $Au/Ti(OC_3H_7)_4$  fue 0.76 % (mol/mol), y esta última solución fue denominada SGG1. La reducción fotocatalítica de los iones de oro fue llevada a cabo en un reactor de irradiación ultravioleta elaborado en el laboratorio de catálisis de la ESIQIE-IPN y que cuenta con doce fuentes de irradiación. Cada fuente de irradiación es una lámpara black light blue UVA (8 W, Hitachi). Estas fuentes de irradiación electromagnética proveen un amplio rango de longitudes de onda que van desde 320 a 390 nanómetros con longitud de onda de emisión pico centrada en  $\lambda_{max} = 355$  nm y una intensidad de

energía óptica de  $732 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Este procedimiento de exposición al reactor fue aplicado a un volumen de 10 ml de la solución SGG1 por un tiempo de entre 15 y 20 minutos. Después de la exposición a la irradiación, el reactor fue desactivado y la solución sol-gel resultante fue recuperada y utilizada para recubrir diferentes sustratos de vidrio que fueron utilizadas como las muestras nanoestructuradas.

El espectro de absorción de la muestra se ilustra en la fig. 4. Puede observarse claramente el pico de absorción asociado al plasmón de resonancia de superficie de las nanopartículas.

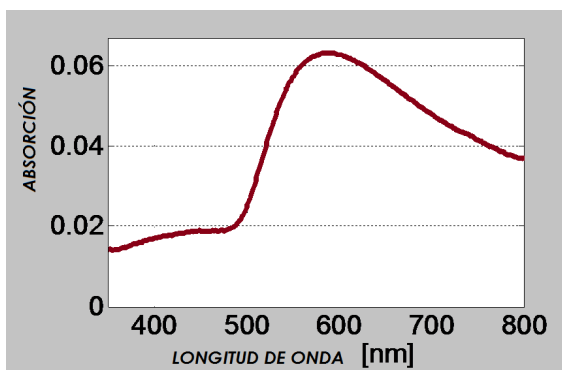


Fig. 4. Espectro de absorción óptica.

#### 4. Resultados

Después de una calibración geométrica detallada del sistema de instrumentación, se observaron cambios importantes en la cantidad de luz absorbida cuando se realizó la simulación de la respiración, el sensor genera una clara variación de voltaje.

Los resultados experimentales indican un rango de la tensión con un voltaje máximo de 1.9 V. y un mínimo de 500 mV. Estos valores se obtienen de manera constante cuando se emuló una frecuencia respiratoria de 12 respiraciones por minuto.

El rango de operación del sistema fue establecido para operar de los 0 V y 2V; como mínimo y máximo respectivamente.

Con este sistema optoelectrónico también fue posible contemplar la detección una respiración media de 22 respiraciones por minuto con valores de 1.8 V. a 1 V. y una respiración intensa con un rango de 1.96 V. a 1.5 V.

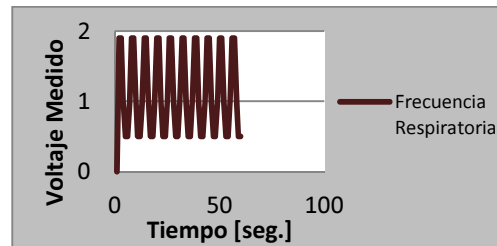


Fig. 5. Ritmo respiratorio Vs. Voltaje experimental detectado.

El resultado de la respuesta óptica temporal de la muestra ha sido reportado en otra parte de dos de los autores de este manuscrito [5], el valor resultante es de aproximadamente un femtosegundo. Actualmente, proponemos usar la luz reflejante del sistema de instrumentación con el fin de interactuar con la muestra nanoestructurada y luego rápidamente se puede obtener información la cual puede ser orientada para la visualización de la frecuencia respiratoria.

Para la implementación del sensor ultrarrápido se requiere una mezcla con varios rayos láser con alta intensidad para el desarrollo de un sistema completo de detección óptica en función de la interacción láser. Técnicas interferométricas o de transmitancia por efecto óptico Kerr permiten la modulación de las señales en forma simple [6,7]. En la fig. 6 se muestra el montaje experimental propuesto.

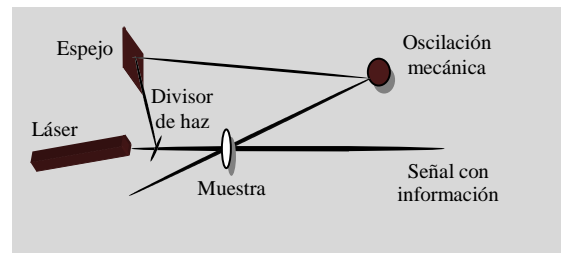


Fig. 6. Experimento mezcla de multiondas.

De la fig. 6 se puede observar que un cambio en la reflexión dada por la oscilación mecánica asociada con la respiración hace el experimento de mezclado origine varios cambios en la interferencia de las ondas dentro de la muestra. De la superposición de las ondas en el arreglo es posible producir en una señal casi instantánea con la información de la oscilación mecánica implícita.

Se estima que este sistema podría ser útil en aplicaciones para sistemas de instrumentación de señales ópticas, procesamiento y adquisición de

imágenes, control para efectos de ablación láser en el desarrollo de prótesis y asimismo para cirugías láser de alta selectividad con pulsos ultracortos.

## 5. Conclusiones

Se implementó un sistema optoelectrónico que puede adquirir datos para la visualización de la frecuencia respiratoria. Se empleó un sensor de semiconductor MT de alta sensibilidad que puede ser calibrado para la detección de una respiración media o agitada.

Se observaron fuertes cambios en la sensibilidad del sistema cuando el rayo láser incide en diferentes zonas del área activa del detector.

Los datos obtenidos indican que el sistema propuesto puede ser útil para monitorear frecuencias respiratorias de personas y otros seres vivos, teniendo en cuenta los movimientos mecánicos detectados.

## 6. Agradecimientos

Los autores reconocen amablemente a CONACYT, ICYT-DF, COFAA y al IPN por su apoyo económico.

## 7. Referencias

- [1] Po C Chen, Sandra C Mwakwari, Adegboyega K Oyelere: Gold nanoparticles: From nanomedicine to nanosensing. *Nanotech., Sci. and Appl.* 2008; 1:45-65.
- [2] Chicharro J “Fisiología del ejercicio” Ed. Medica panamericana. 2006. pp 361-367.
- [3] C. Aguilar, “*electromedicina*”. Ed. Hispano Americana S.A. –HASA, Colombia, 1994, p 109.
- [4] M. Trejo-Valdez, R. Torres-Martínez, N. Peréa-López, P. Santiago-Jacinto, C. Torres-Torres, “Contribution of the two-photon absorption to the third order nonlinearity of Au nanoparticles embedded in TiO<sub>2</sub> films and in ethanol suspension”, *J. of Phys. Chem. C*, 114,10108-10113, 2010.
- [5] D. Torres-Torres, M. Trejo-Valdez, L. Castañeda, C. Torres-Torres, L. Tamayo-Rivera, R. C. Fernández-Hernández, J. A. Reyes-Esqueda, J. Muñoz-Saldaña, R. Rangel-Rojo, A. Oliver, “Inhibition of the two-photon absorption response exhibited by a bilayer TiO<sub>2</sub> film with embedded Au nanoparticles”, *Opt. Express*, 18(16), 16406-16417, 2010.

- [6] S. Morales-Bonilla, C. Torres-Torres, G. Urriolagoitia-Sosa, L. H. Hernández-Gómez, G. Urriolagoitia-Calderón “Interferometric laser detection of nanomechanical perturbations in biological media under ablation conditions,” *J. of Phys.: Conf. Series*, 305, 012124-7, 2011.
- [7] C. Torres-Torres, L. Tamayo-Rivera, R. Rangel-Rojo, R. Torres-Martínez, H. G. Silva-Pereyra, J. A. Reyes-Esqueda, L. Rodríguez-Fernández, A. Crespo-Sosa, J. C. Cheang-Wong, A. Oliver, “Ultrafast optical phase modulation with metallic nanoparticles in ion-implanted bilayer silica,” *Nanotechnology*, 22(35), 355710, 2011.