



## IMPLEMENTACION EN ENTORNO LABVIEW DE UN SISTEMA MULTIFUNCIONAL DE MEDIDAS MAGNETOOPTICAS Y MAGNETOELECTRICAS PARA CARACTERIZACION DE MATERIALES

### LABVIEW IMPLEMENTATION OF A MULTIFUNCTIONAL MAGNETO-OPTICAL AND MAGNETO-ELECTRICAL MEASUREMENT SYSTEM FOR MATERIALS CHARACTERIZATION

**Alberto Luis Ramirez Hurtado<sup>1</sup>, Johanna Gil Monsalve<sup>1</sup>, Milton Humberto Medina Barreto<sup>1</sup>, Beatriz Cruz Muñoz<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, Facultad de Ciencias Básicas. Grupo de Investigación en Propiedades Magnéticas y Magnetoópticas de Nuevos Materiales.

#### Resumen

Se describe la implementación interactiva y unificada de las técnicas de Magnetometría de Efecto Kerr (MEK) y Medición de Coeficiente Magnetoeléctrico (ME) bajo el entorno de programación LabVIEW, a temperatura ambiente. Las dos técnicas fueron representadas por módulos los cuales contienen subrutinas que permiten registrar, filtrar y procesar la respuesta magnetoóptica o magnetoeléctrica de una muestra bajo estudio, directamente desde el computador. Esos módulos permiten acoplar los distintos dispositivos eléctricos, electrónicos, magnéticos y ópticos involucrados en cada etapa del proceso. Los resultados muestran que fue posible la generación y control de los campos magnéticos asociados a cada técnica, la recepción sincrónica de los datos y su posterior procesamiento y visualización en tiempo real; en un único sistema multifuncional MEK-ME.

**Palabras clave:** efecto Kerr, efecto magnetoeléctrico, programa LabVIEW.

#### Abstract

In this work we describe the interactive and unified implementation of the Magneto-optic Kerr effect magnetometry (MEK) and magnetoelectric coefficient measurement (ME) techniques, under LabVIEW programming environment, at room temperature. The two techniques were represented by modules which contain subroutines that allow to record, filter and process the magneto-optical or magnetoelectric response of



a sample under study directly from the computer. These modules allow us to connect various electrical, electronic, magnetic and optical devices involved in each stage of the process. The results show that it was possible to generate and to control magnetic fields associated with each technique, synchronous data reception and further processing and visualization in real time; on one MEK-ME multifunctional system.

**Key Words:** Kerr effect, magnetoelectric effect, LabVIEW software.

\*Para citar este artículo: Ramirez Hurtado A.L et al. Implementación en entorno LabView de un sistema multifuncional de medidas magnetoópticas y magnetoeléctricas para caracterización de materiales..Revista Bistua. 2016.14(2):116-125

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas: Beatriz Cruz Muñoz. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, Facultad de Ciencias Básicas. Grupo de Investigación en Propiedades Magnéticas y Magnetoópticas de Nuevos Materiales.email: bcruz@utp.edu.co

Recibido: Septiembre 20 2015

Aceptado: Abril 26 2016

## Introducción

El estudio de las propiedades magnetoeléctricas y magnetoópticas de nuevos materiales representa un área de desarrollo tecnológico de importancia a nivel nacional e internacional, siendo el Magnetómetro Kerr (MEK) y el sistema de medición de coeficiente magnetoeléctrico (ME) técnicas apropiadas para la medición de las propiedades magnetoópticas y magnetoeléctricas, respectivamente. El desarrollo instrumental de equipos de este tipo para caracterización de materiales es significativo, pero en países como Colombia su implementación está limitada por factores económicos y técnicos. En nuestra región se cuenta con equipos en funcionamiento, como el magnetómetro Kerr (MEK) en la Universidad Tecnológica de Pereira<sup>1-3</sup> y recientemente, se ha logrado la implementación de un equipo para la medición de coeficiente magnetoeléctrico<sup>4,5</sup>; pero no se reportan trabajos que involucren estas dos técnicas mencionadas en un solo equipo; las cuales a pesar que comparten muchas características instrumentales han funcionado hasta ahora cada una de manera separada. El objetivo de este trabajo fue la implementación de un sistema que integra la medición de las propiedades magnetoópticas y

magnetoeléctricas en un entorno de desarrollo LabVIEW, que ofrezca una interfaz amigable al usuario.

## METODOLOGÍA

### DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS IMPLEMENTADAS

#### Magnetómetro de Efecto Kerr (MEK)

En general la función del MEK es presentar una respuesta cualitativa de la magnetización (M) y cuantitativa del campo coercitivo ( $H_c$ ), a través del ciclo de histéresis (M vs H). Este equipo se ha subdividido en tres conjuntos con el fin de entender mejor su funcionamiento: el conjunto de instrumentación y control, eléctrico y óptico. El conjunto de instrumentación y control consta de un sensor de campo magnético, tarjeta de adquisición de datos (DAQ), Lock-In, tarjeta GPIB (General Purpose Interface Bus), chopper, fotodetector y el módulo de acondicionamiento de los sensores y adicionalmente, de los posibles actuadores de control en sistemas con fuente de corriente sin inversión de fase interna. El conjunto eléctrico se encuentra formado por un electroimán y una fuente de corriente que lo alimenta. Por último, está el conjunto óptico conformado por: láser, polarizador, analizador (polarizador rotado  $90^\circ$  respecto al

primer polarizador) y lentes focalizadores.

### Sistema de medición de coeficiente Magnetoeléctrico (ME)

El coeficiente magnetoeléctrico es calculado a partir de la medición de un voltaje generado por la muestra, cuando es sometida a un campo magnético AC superpuesto a un campo magnético DC variable<sup>6</sup>. La expresión para el coeficiente magnetoeléctrico  $\alpha$  está dada por la ecuación (1):

$$\alpha = \frac{V}{h_0 d} \quad (1)$$

donde,  $h_0$  es la amplitud del campo magnético AC aplicado,  $d$  es el espesor de la muestra y  $V$  es el voltaje a través de la muestra<sup>7</sup>.

Al igual que el MEK, este equipo se ha subdividido en diferentes conjuntos: un conjunto de instrumentación y control y un conjunto eléctrico<sup>5</sup>. El conjunto de instrumentación y control lo conforman el sensor Hall, una GPIB, la DAQ y un módulo instrumental, este último integra los circuitos para el preprocesamiento de la señal de voltaje generada por la muestra, la señal del sensor Hall y el circuito de conversión D/A de la señal de control de la fuente de corriente que alimenta el electroimán. A su vez el conjunto

119

eléctrico se encuentra formado por los generadores de campo magnético DC y AC; el primero lo forman un electroimán y una fuente de corriente DC que lo alimenta; mientras que el segundo se compone de una fuente de corriente AC y una bobina de Helmholtz con núcleo de aire.

### CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Analizando los conjuntos involucrados en ambas técnicas y sin tener en cuenta el conjunto óptico del magnetómetro Kerr (MEK), se observa que el equipo de medición de coeficiente magnetoeléctrico (ME) contiene todos los elementos del MEK en sus conjuntos eléctrico y de instrumentación y control, facilitando así el diseño del programa general que controla los dos equipos.

En las Fig.1 y 2 se representan los diagramas en bloques del magnetómetro Kerr y del sistema de medición de coeficiente magnetoeléctrico respectivamente. Se puede apreciar de manera más clara los elementos en común que conforman cada uno de los equipos, donde el módulo (A) integra el módulo de acondicionamiento de los sensores del MEK y el módulo Instrumental del ME; además, se resalta en el recuadro el computador, el cual representa el programa en



LabVIEW que controla cada proceso, observando que el diseño se ha realizado para que ambas técnicas compartan los mismos conjuntos funcionales.

## **DISEÑO DE CONJUNTOS FUNCIONALES**

Con base en los criterios de diseño considerados anteriormente, se diseñaron e implementaron los siguientes módulos en LabVIEW, a partir de los cuales se realizó el programa Unificado MEK-ME:

- Módulo generador de campo DC.
- Módulo de recepción de datos.
- Módulo de almacenamiento de datos.

A partir de cada módulo se generaron subVIs que facilitaron la creación y entendimiento del programa.

### **Módulo generador de campo DC**

El objetivo de este módulo es realizar variaciones del campo magnético DC paso a paso con cada ciclo de reloj. Este ciclo de reloj está dado por el tiempo de relajación que el usuario ingresa dependiendo de la muestra que va a medir. Se realizó el diseño de este módulo con base en la lógica del MEK existente en la Universidad Tecnológica de Pereira<sup>1</sup>.

### **Módulo de recepción de datos**

120

Los datos provenientes de la respuesta de la muestra, ya sea mediante el efecto Magneto-óptico o Magneto-eléctrico ingresan por el Lock-In y se comunican con el programa en LabView mediante la GPIB; mientras que la respuesta del sensor de campo magnético ingresa mediante la tarjeta DAQ.

Se realizó el diseño de un primer módulo que se encarga de recibir los datos mediante la GPIB y los envía a una variable global, la cual los presenta y grafica según la necesidad; y un segundo módulo que recibe los datos por la DAQ y pasa por un proceso de filtrado con wavelets<sup>3</sup>. Este último módulo se usa para capturar la señal del sensor de campo magnético en ambos procesos y para recibir la señal del fotodetector del magnetómetro Kerr el cual requiere un preprocesamiento de la señal. Dado que la señal es del orden de los microvolts ( $\mu\text{V}$ ) las variaciones que presenta al momento de exponerse al efecto Kerr son del orden de decenas o centenas de nanovolts (nV), y por lo tanto es necesario amplificar la señal. El amplificador operacional empleado es el TLC2652, el cual posee una tensión de offset de  $1 \mu\text{V}$  la cual continúa siendo grande respecto a las variaciones tan pequeñas presentes en el fotodetector, por lo que dificulta



ostensiblemente el tratamiento de la señal directamente por la DAQ.

### **Módulo de almacenamiento de datos**

El almacenamiento de los datos se realiza en tiempo real. Cada vez que se recibe un dato nuevo se almacena en una ruta definida por el usuario.

### **IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA GENERAL MEK-ME**

El programa general fue implementado siguiendo la lógica mostrada en la Fig. 3, donde inicialmente se decide cual proceso seguir, presentándose 3 opciones:

**KERR:** al escoger esta opción se inicia el proceso de medición con el magnetómetro Kerr, se genera el campo magnético para excitar la muestra, se captura la respuesta de la misma a esa excitación, se muestra en tiempo real el valor de captura (señal de voltaje proveniente del fotodetector), se almacena el dato en la ruta escogida por el usuario y se incrementa el campo magnético iniciando nuevamente el proceso.

**ME:** en esta opción la lógica es muy parecida a la del efecto Kerr, desde el punto de vista en LabVIEW, diferenciándose en que la señal adquirida no es proveniente del fotodetector, sino del voltaje que se

121

genera directamente en la muestra estudiada.

**Generador de campo:** se implementó esta opción con el fin de que sea posible usar el programa para realizar otro tipo de experimentos que requieran solamente la presencia de un campo magnético. En esta opción se genera el campo con la misma lógica utilizada en los dos procesos anteriores.

En la Fig. 4 se observa una interfaz gráfica donde se selecciona qué medida tomar y se ingresan los parámetros necesarios como el número de incrementos, tiempo entre muestras, corriente máxima de trabajo, densidad de flujo magnético AC y espesor de la muestra, los dos últimos siendo exclusivos del sistema de medición del coeficiente magnetoeléctrico.

La interfaz además permite la visualización de las señales implícitas para cada proceso seleccionado; en el caso del KERR y del ME el usuario puede visualizar dos curvas:

**Curva de la bobina ( $B_{DC}$  vs.  $t$ ):** permite visualizar la densidad de flujo magnético DC en función del tiempo y determinar si el control de la fuente de corriente se está realizando de manera adecuada.



**Curva característica de la muestra en función de la densidad de flujo magnético DC:** en el caso del KERR es la señal proveniente del fotodetector, mientras que en el ME se visualiza indirectamente el comportamiento del voltaje generado por la muestra manteniendo constante la densidad de flujo magnético AC a determinada frecuencia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó la prueba del programa para cada tipo de medida obteniéndose un funcionamiento acorde a lo planeado. En la Fig. 5 se observa la respuesta de efecto Kerr magnetoóptico de una película delgada de FeC depositada sobre un sustrato de Si utilizando la técnica de deposición por láser pulsado. Se puede observar un ciclo de histéresis con campo coercitivo de 7,3 mT. Este resultado está acorde con la medida reportada por otro autor para la misma película<sup>8</sup>.

En la Fig. 6 se observa la respuesta del efecto magnetoeléctrico longitudinal utilizando una muestra de BiFeO<sub>3</sub> depositada sobre un sustrato de Pt, y crecida utilizando la técnica de magnetron sputtering con atmósfera de 80%Ar /20%O<sub>2</sub>. Se puede observar cómo el coeficiente magnetoeléctrico depende de la

frecuencia del campo magnético AC lo cual concuerda con Ordoñez<sup>9</sup>; además, se observa como  $\alpha$  aumenta con el incremento del campo DC, en este caso satura a partir de 23 mT, lo cual está de acuerdo a lo reportado en la literatura<sup>10</sup>.

## CONCLUSIONES

\*Se implementó un sistema multifuncional el cual integra la técnica de medición del coeficiente magneto-eléctrico y el magnetómetro de efecto Kerr, obteniendo los resultados esperados para cada modo, con una interfaz gráfica simple y clara para el usuario.

\*Para adquirir la señal del Magnetómetro KERR, se deben tener ciertos cuidados, la muestra debe estar bien pulida, el sistema se debe ubicar de manera correcta posicionando láser y fotodetector a la misma distancia de la muestra y, realizar una correcta configuración de los parámetros del Lock-In con el fin de evitar adicionarle más factores generadores de ruido al sistema.

\*Es posible adquirir la señal proveniente de ambos sistemas mediante la Tarjeta de Adquisición de Datos DAQ, solo que en el caso de la señal Magneto-óptica es necesario utilizar amplificadores operacionales



de mayor sensibilidad (del orden de los nano Voltios).

### AGRADECIMIENTOS

Producto derivado del proyecto de investigación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTIFUNCIONAL PARA MEDIDAS MAGNETOÓPTICAS Y MAGNETOELÉCTRICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE NUEVOS MATERIALES”. Presentado por el Grupo de Investigación Propiedades Magnéticas y Magnetoópticas de Nuevos Materiales (GIMM), de la Universidad Tecnológica de Pereira a la Convocatoria 617 de Jóvenes Investigadores de Colciencias.

### Referencias bibliográficas

1. J. Torres, B Cruz. Descripción e implementación de un magnetómetro Kerr. *Scientia et Technica*. 2008; 1 (38): 83-87.
2. J. Torres, A.C. García, B. Cruz. Análisis del comportamiento del magnetómetro Kerr longitudinal para diferentes ángulos de incidencia, *Scientia et Technica*. 2009; 1 (41): 309-312.
3. J. Torres, P. Angarita, B. Cruz. Definición de criterios de diseño de un magnetómetro multifuncional que integra diferentes técnicas, para caracterización magnética de 123 micro y nanoestructuras. *Revista Colombiana de Física*. 2011; 43 (3): 675-678.
4. K. Gil and et al. Experimental set up of a magnetoelectric measuring system operating at different temperatures. *Journal of Physics: Conference Series* 687 (2016) 012090.
5. J. Gil. Diseño de un sistema de medición de coeficiente magnetoeléctrico para la caracterización de materiales nanoestructurados [Tesis]. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingenierías; 2014.
6. G. S. Bhattacharya, S. Mazumder and B. Baisnab, Design and fabrication of few devices for dynamic measurement of magneto-electric effect. *IJEMS*. 2004; 11 (3): 185-188.
7. L. E. Fuentes-Cobas, J.A. Matutes-Aquino and M.E. Fuentes-Montero. Magnetolectricity. En: K.H.J Buschow Editor. *Handbook of Magnetic Materials*. Vol. 19. 1a ed. North Holland: Elsevier B. V; 2011. p. 130-224.
8. García Castro A. C. (2010). Efecto de la composición de carbono sobre las propiedades magnéticas y estructurales en películas delgadas de Fe-C

producidas por deposición por láser pulsado (PLD), Primera Edición Publicaciones de la Universidad Tecnológica de Pereira.

9. J. Ordoñez. Caracterización magnetoeléctrica en películas delgadas de  $\text{FeBiO}_3$  [Tesis]. Cali: Universidad del Valle. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas; 2009.
10. Shuxiang Dong, Jie-Fang Li and Dwight Viehland. Longitudinal and transverse magnetolectric voltage coefficients of magnetostrictive piezoelectric laminate composite: Experiments. IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control. 2004; 51 (7): 794-799.

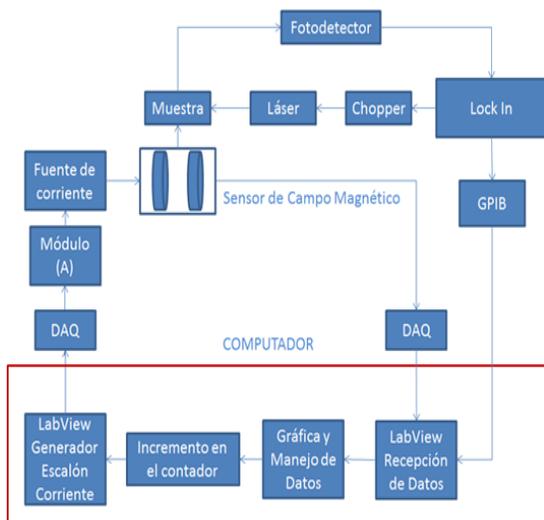


Fig. 1. Diagrama de bloques de un Magnetómetro de Efecto Kerr (MEK).

124

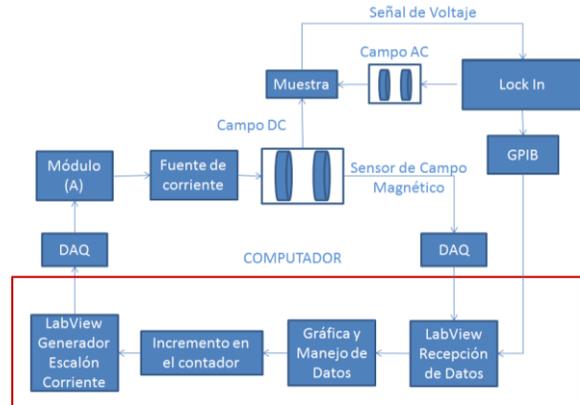


Fig. 2. Diagrama de bloques de un sistema de medición de coeficiente Magnetoeléctrico (ME).

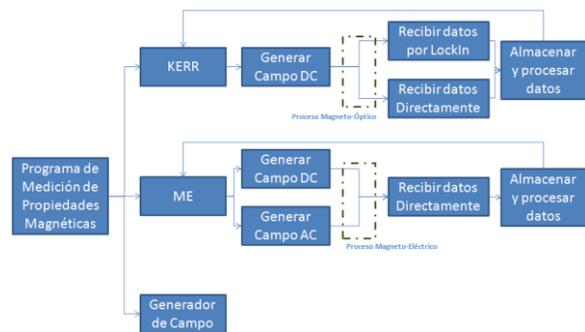


Fig. 3. Lógica de funcionamiento del Sistema Multifuncional de Medidas Magneto-ópticas y Magneto-eléctricas.

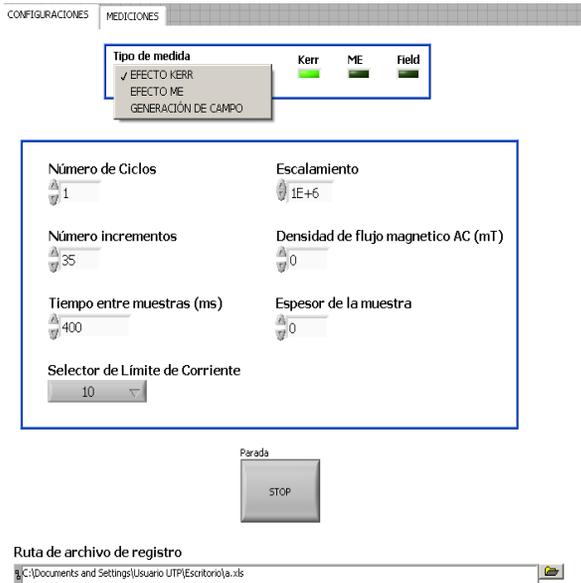


Fig. 4. Interfaz gráfica MEK-ME para seleccionar el tipo de medida a realizar

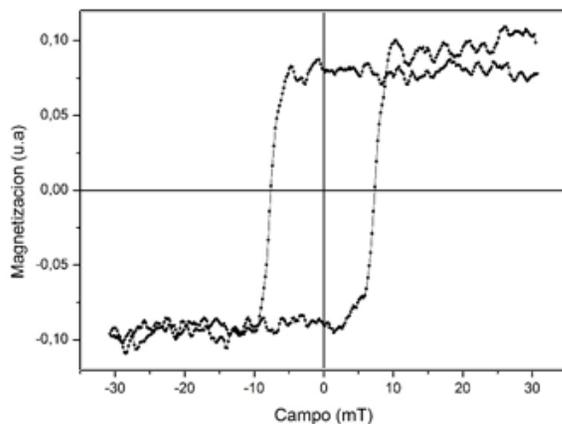


Fig. 5. Resultado obtenido luego de ejecutar el programa en el modo KERR, Ciclo de magnetización, con geometría longitudinal, tomado a una película delgada de FeC y campo coercitivo de 7,3 mT.

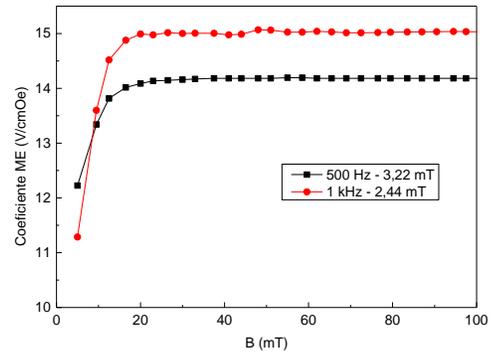


Fig. 6. Resultado obtenido haciendo la medición del coeficiente Magneto-eléctrico con una muestra de BiFeO<sub>3</sub> depositada sobre un sustrato de Pt, y crecida en una atmósfera de 80%Ar/20%O<sub>2</sub>.

**Beatriz Cruz Muñoz.** Ph. D en Ciencias Físicas. Profesora de planta. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

**Milton Humberto Medina Barreto.** Ph. D en Ciencias Físicas. Profesor de planta. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

**Alberto Luis Ramírez Hurtado.** Ingeniero electrónico. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

**Johanna Gil Monsalve.** M.Sc en Ingeniera Eléctrica. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.